



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

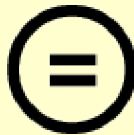
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

GPSS/H와 PROOF5를 이용한
광석 및 컨테이너운송시스템의
시뮬레이션과 애니메이션 결합



2019년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

에너지자원공학과

이 채 영

공 학 석 사 학 위 논 문

GPSS/H와 PROOF5를 이용한
광석 및 컨테이너운송시스템의
시뮬레이션과 애니메이션 결합

지도교수 최 요 순

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2019년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

에너지자원공학과

이 채 영

이채영의 공학석사 학위 논문을 인준함

2019년 2월



위 원 장 공학박사 엄 정 기 (인)



위 원 공학박사 손 한 암 (인)



위 원 공학박사 최 요 순 (인)



Integration of Simulation and Animation for Truck-Loader Haulage Systems in an Underground Mine and Automated Freight Transport System Using GPSS/H and PROOF5

Chaeyoung Lee

Department of Energy Resources Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

This study proposed a method to intuitively confirm the simulation results of ore and container haulage systems using GPSS/H simulation language and the PROOF5 program. After designing haulage systems model using discrete event simulation with data on Daesung MDI underground mine, GPSS/H was used to simulate the systems model. The results of applying the proposed method to an underground limestone mine in Korea, the simulation result such as the truck position, waiting time, loader utilization rate and crusher utilization rate with time could be confirmed at a glance through animation. In addition, the study was able to make new system model that is intermodal automated freight transport system and then it was used to simulate. The system also showed the simulation result such as the train dispatch

time, the tractor's waiting time easily through animation. The proposed method has a potential as a tool for making a decision whether change the haulage system or make new haulage system.

Keywords: Discrete event simulation, Animation, Truck-roader Haulage Systems , Automated Freight Transport System



목 차

Abstract	i
List of Figures	iv
List of Tables	vii
1. 서론	1
2. 연구방법	4
2.1 GPSS/H를 이용한 시뮬레이션 모델 개발	4
2.2 PROOF5를 이용한 애니메이션 구현	6
2.3 시뮬레이션과 애니메이션의 결합	8
3. 지하광산 트럭-로더 운반시스템 시뮬레이션과 애니메이션	9
3.1 시스템의 구성요소 및 시뮬레이션 인자	9
3.2 시뮬레이션 알고리즘 설계	11
3.3 시뮬레이션과 애니메이션 결합 결과	17
4. 인터모달 자동화물운송시스템 시뮬레이션과 애니메이션	21
4.1 시스템의 구성요소 및 시뮬레이션 인자	21
4.2 시뮬레이션 알고리즘 설계	25
4.3 시뮬레이션과 애니메이션 결합 결과	33
5. 결론	46
참고문헌	47
요약	53
감사의 글	54

List of Figures

Fig. 2.1 A part of GPSS/H code for simulating the haulage system in the study areas. (a) Truck-loader haulage system. (b) Intermodal automated freight transport system.	5
Fig. 2.2 Files required for conducting animations using PROOF5. (a) Layout file. (b) Trace file.	7
Fig. 2.3 Method for integrating GPSS/H simulation with PROOF5 animation.	8
Fig. 3.1 Aerial view of the study area (image source: Vworld, http://map.vworld.kr/map/maps.do).	10
Fig. 3.2 Layout of the study area. Red color path represents the haulage route of dump trucks between the loading point at 540 ML and the dumping points.	12
Fig. 3.3 Design of a model for simulating the truck-loader haulage system in the study area.	16
Fig. 3.4 Visualization of the simulation results though animation. (a) At 200 sec. (b) At 1000 sec. (c) At 2500 sec.	18
Fig. 3.5 Lap times of trucks at each section simulated in the study area.	20
Fig. 4.1 Layout of the study area.	23
Fig. 4.2 Design of a model for simulating the intermodal automated	

Freight Transport system in the study area. (a) Train system (b) Yard Tractor in wait area. (c) Personal Tractor (d) Yard Tractor. ...	30
Fig. 4.3 Integration of intermodal automated freight transport system simulation with animation.	33
Fig. 4.4 Visualization of the simulation results though animation. (a) Outline of overall system (b) Personnel Tractor's act. (c) Yard Tractor's act 1. (d) Yard Tractor's act 2. (e) Yard Tractor's act. in wait area.	35
Fig. 4.5 Simulation result for the operating time of one direction with single train, travel time on 1 hour of train between terminal A and terminal B. (a) The number of container in train. (b) Average utilization of terminal. (c) Average utilization of Yard Tractor in wait area.	42
Fig. 4.6 Simulation result for travel time of one direction between terminal A and terminal B with single train, the operating time of train in 18 hours. (a) The number of container in train. (b) Average utilization of terminal. (c) Average utilization of Yard Tractor in wait area.	43
Fig. 4.7 Simulation result for the number of one direction and avoidance with trains, travel time between terminal A and terminal B with the operating time of train in 18 hours. (a) The number of container in train. (b) Average utilization of terminal. (c) Average utilization of Yard Tractor in wait area.	44

Fig. 4.8 Simulation result for the number of two direction with trains, travel time between terminal A and terminal B with the operating time of train in 18 hours. (a) The number of container in train. (b) Average utilization of terminal. (c) Average utilization of Yard Tractor in wait area. 45



List of Tables

Table 3.1 Definition of index for truck - loader haulage system simulator.	10
Table 3.2. Time parameters required for the truck-loader haulage systems simulation in the study.	13
Table 4.1 Definition of index for intermodal automated freight transport system simulator	24



I. 서론

복잡한 시스템으로 만들어진 작업공정을 수행하는 분야들은 효율적인 운영관리를 위해 생산성, 운영비용과 같은 지표를 예측하는 것이 중요한 요인 중 하나이다. 예를 들어, 광산업이나 물류/운반업, 건설업, 제조업 등과 같은 반복적인 생산 작업을 하는 분야가 있다. 여러 가지 시스템들이 동시에 다발적으로 발생하므로, 만약 새로운 방식의 시스템을 도입하거나 기존의 방식을 개조시키려면 지표를 예측할 때 고려해야 할 조건이 많이 발생한다. 그러므로 효율적으로 운영하기 위해 작업공정 안의 각 시스템의 개념과 범위를 이해하는 것이 필요하다(Banks et al., 2001). 일반적으로 실제와 비슷한 환경 조건을 가진 모델을 만들어 시뮬레이션하는 방법이 있다. 그 중 목적함수를 시간으로 두고 시간의 흐름에 따라 시스템이 변화하는 양상을 확인할 수 있는 이산사건 시뮬레이션 기법이 있다. 이를 이용하면 복잡한 시스템에서 발생할 수 있는 문제들을 확률적으로 시뮬레이션할 수 있다(Sturgul, 2000).

특히, 광산 현장이나 컨테이너 터미널과 같은 분야에서 이산사건시뮬레이션 기법을 많이 사용하고 있다. 광석을 운반하는 장비는 트럭, LHD, 레일, 컨베이어 등이 있어 광산의 크기에 따라 운반 장비를 선택하는 것이 광석을 운반하는 시스템을 효율적으로 설계하고 운영하는 데 중요한 역할을 한다. 그 시스템의 운영방법과 조건들에 따라 채광 비용이 크게 달라질 수 있기 때문이다(Awuah-Offei, 2016). 마찬가지로 컨테이너를 운송하는 터미널에서도 운송하는 위치에 따라 운송수단을 선택하고, 이용하는 운송수단들의 조합으로 시스템의 효율성이 달라질 수 있다.

이를 위해 광산 현장에서는 운반시스템에 대한 시뮬레이션 기법을 다양

하게 사용하고 있다(Farid and Koning, 1994; Knights and Bonates, 2007; Eriksson, 2014; Coronado and Pablo, 2014; Shelswell and Labrecque, 2017). 최근까지 해외에서는 노천광산의 운반시스템에 투입될 장비들의 성능과 수를 최적화할 수 있는 이산사건 시뮬레이션 기법들이 다수 개발되었으며(Tarshizi, 2014; Ali, 2015; Ibarra, 2015), 지하광산을 대상으로 한 연구도 활발히 진행되고 있다(Salama and Greberg, 2012; Fioroni et al., 2014; Salama et al., 2014; Tarshizi et al., 2016; Mahieu, 2017). 국내에서도 트럭의 성능과 배차방식, 고장발생 가능성, 파쇄기의 처리용량 등의 요인들을 복합적으로 고려하여 노천광산에서의 운반시스템을 시뮬레이션할 수 있는 기법들이 개발되었다(Choi, 2011; Park and Choi, 2013; Park et al., 2014a). 또한 지하광산의 트럭-로더 운반시스템을 시뮬레이션하는 방법들도 다수 연구되었다(Park et al., 2014b; Park et al., 2016). 이러한 시뮬레이션 기법들은 노천광산이나 지하광산 현장에서 사용될 수 있도록 Window용 프로그램으로 개발되었다(Choi et al., 2016; Park et al., 2014c). 그러나 기존에 개발된 프로그램들은 운반시스템의 전체적인 효율성을 나타내는 주요 지표 값만을 시뮬레이션 결과로써 제공하기 때문에, 시간의 흐름에 따라 어떠한 사건들이 운반시스템에서 발생했는지 사용자가 직관적으로 확인할 수 없다는 한계가 있었다.

컨테이너 터미널 분야에서도 항만터미널의 운송시스템에서 이산사건 시뮬레이션 기법을 많이 사용하고 있다. 대부분 기존의 터미널 내에서 새로운 시스템의 타당성 평가를 위해 시뮬레이션 모델을 개발하거나 사용되고 있는 시스템들의 성능을 분석하기 위해 시뮬레이션 모델을 개발하였다(Rizzoli et al., 2002; Nam et al., 2002; Duinkerken et al., 2002; Lee et al., 2003). 또한 부두의 크레인, 선박, 트럭과 같은 장비들의 특성에 따라 장비의 성능을 비교하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하였다(Briskorn and

Hartmann, 2006). 그러나 컨테이너 터미널은 구축된 인프라에 따라 장비 운영방안이 달라질 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 내륙에 위치한 컨테이너 터미널을 대상으로 효율적인 운영을 할 수 있는 새로운 컨테이너 터미널의 인프라를 구축하고 장비들의 운송방식을 결정하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하고자 한다.

최근에 광산 분야에서 개발된 시뮬레이션 프로그램의 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 시뮬레이션 결과를 애니메이션을 통해 직관적으로 확인하는 방법을 제시하고자 한다. 또한, 광산 분야의 운반시스템 보다 좀 더 복잡한 시스템을 운영하는 컨테이너 터미널 분야에 이 방법을 적용하고자 한다. 물류거점과 거점 사이를 연결하는 인터모달 자동화물운송시스템에 GPSS/H 시뮬레이션 언어를 이용하여 시뮬레이션한 후 그 결과를 PROOF5 애니메이션 프로그램에 입력 가능한 파일형식으로 출력하여 시뮬레이션과 애니메이션을 결합할 것이다.

II. 연구방법

2.1 GPSS/H를 이용한 시뮬레이션 모델 개발

광석 및 컨테이너 운송시스템의 시뮬레이션 모델을 개발하기 위해 시뮬레이션 언어인 GPSS/H를 사용하였다. GPSS/H는 이산적인 사건들로 구성된 시스템을 유연하게 모델링할 수 있으며, 광업 분야뿐만 아니라 다른 산업 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 또한, 코드를 간결하게 작성할 수 있으며, 연산속도가 빠른 장점이 있다. GPSS/H에 관한 자세한 설명은 Choi(2011)을 참고하길 바란다. Fig. 2.1은 지하광산의 트럭-로더 운반시스템과 컨테이너 터미널의 인터모달 자동화물운송시스템을 GPSS/H로 구현한 시뮬레이터 코드의 일부를 보여준다.


```

1.DM_for animation.GPS - 매회장
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)

DEPART QCRUSHER
ADVANCE RVNORM(1,52.2,10.2) SPOTTING TIME(WAIT IN THE QU
ADVANCE RVNORM(1,35.4,6.6) DUMPING TIME
ADVANCE RVNORM(1,52.2,10.2) SPOTTING TIME(WAIT IN THE QU
BLET &AQTC=&AQTC+QT(QCRUSHER)
BLET &AQLC=&AQLC+QA(QCRUSHER)
LEAVE CRUSHER
TRANSFER ,TDB

WCQ2 GATE SNF CRUSHER
ENTER CRUSHER
DEPART QCRUSHER
ADVANCE RVNORM(1,28.2,5.4) SPOTTING TIME(NO WAIT IN THE
ADVANCE RVNORM(1,35.4,6.6) DUMPING TIME
ADVANCE RVNORM(1,28.2,5.4) SPOTTING TIME(NO WAIT IN THE
LEAVE CRUSHER
TRANSFER ,TDB

GENERATE ...1
OC TEST GE &HOPPER,(400/60) IF THE WEIGHT OF THE ORE IS GREATER
SEIZE UCRUSHER
ADVANCE 1
BLET &UC=&UC+FR(UCRUSHER)
RELEASE UCRUSHER
BLET &HOPPER=&HOPPER-(400/60)
TRANSFER ,OC

GENERATE ...1
OL TEST GE &ODD1,200 IF THE WEIGHT OF THE ORE IS GREATER

```

(a)

```

Terminal_12.gps - 매회장
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)

*터미널에 화차의 도착과 출발을 제어하는 코드
LOGIC R TRAININ
BLET &CHECKRL=0
TIMES1 GENERATE &DIARLM,&DIARLD,&ARTARL,&MNTRAINS
ASSIGN 1,1,(TIMES1),PH
QUEUE QRAIL *화차의 적화하화공간 진입 대기
SEIZE FRAIL *화차의 적화하화공간 점유
LOGIC S TRAININ *화차의 적화하화공간 점유 보고
BLET &CHECKRL=1
***TEMP*****
BLET &NCARLOUT=10 *임시코드: 화차의 하화대기 컨테이너의 수
BLET &NCARLDW=0 *임시코드: 하화대기 구역의 컨테이너의 수
BLET &NCARLIN=0 *임시코드: 화차에 적화된 컨테이너의 수
*****DEBUG*****
BPUTPIC LINES=1,FILE=MYOUT2.AC1,PH1
At *****: Train No. ** arrived at the terminal.
*****DEBUG*****
DEPART QRAIL *화차의 적화하화공간 진입 대기해제
ADVANCE RVNORM(1,&STTARLM,&STTARLD) *화차의 터미널 채류 (트랙터들이 적화/하화 작업수행)
RELEASE FRAIL *화차의 적화하화공간 점유해제
LOGIC R TRAININ *화차의 적화하화공간 점유해제 보고 (화차의 출발)
BLET &CHECKRL=0
*****DEBUG*****
BPUTPIC LINES=1,FILE=MYOUT2.AC1,PH1
At *****: Train No. ** left the terminal.
*****DEBUG*****
***TEMP*****
BLET &NCARLUP=10 *임시코드: 적화대기 구역의 컨테이너의 수
BLET &NCARLIN=0 *임시코드: 화차에 적화된 컨테이너의 수
TIMES2 TERMINATE
*****
*적화대기구역- 하화대기구역에 배치된 전용 트랙터(YTRL)를 제어하는 코드
TYTRL GENERATE ,0,&NAYTRL
ASSIGN 1,10000+N(TYTRL),PH
BRL2 QUEUE QYTRLDW *하화대기구역에서 대기
TEST E &CHECKRL1 *철로에 화차 있는 경우 다음코드로 이동, 그렇지 않은 경우 Q에서 대기
GATE LS TRAININ
TEST G &NCARLOUT,0,BRL1 *화차에 하화대기 컨테이너가 있는 경우
다음코드로 이동, 그렇지 않은 경우 BRL1(적화대기구역)으로 이동
SEIZE RAILDW *화차의 하화대기 컨테이너 공간 점유
DEPART QYTRLDW
ADVANCE RVNORM(1,&TYTRL1M,&TYTRL1D) *YTRL의 하화대기구역에서 화차까지 이동
ADVANCE RVNORM(1,&LYTRL1M,&LYTRL1D) *YTRL의 화차에서 전용채식컨테이너 채결시간
RELEASE RAILDW
ADVANCE RVNORM(1,&TYTRL2M,&TYTRL2D) *YTRL의 화차에서 하화대기구역까지 이동

```

(b)

Fig. 2.1 A part of GPSS/H code for simulating the haulage system in the study areas. (a) Truck-loader haulage system. (b) Intermodal automated freight transport system.

2.2 PROOF5를 이용한 애니메이션 구현

본 연구에서는 광석 및 컨테이너 운송시스템의 애니메이션 구현을 위해 PROOF5 프로그램을 사용하였다. PROOF5는 복잡한 시스템을 2D 또는 3D로 가시화하여 도식적으로 표현할 수 있다. PROOF5를 이용하여 애니메이션을 구현하기 위해서는 두 종류의 입력 파일(layout, trace)이 필요하다. Layout 파일은 애니메이션을 구성하는 객체들과 객체들의 이동경로 등을 정의한다. Layout 파일은 PROOF5에서 사용자가 직접 도면을 그리거나, CAD 파일을 변환하여 생성할 수 있다(Fig. 2.2(a)). Trace 파일은 애니메이션 중 발생하는 동적인 사건들을 정의하여 코드로 나타낼 수 있다. 시간의 흐름에 따라 애니메이션상에서 나타나고, 움직이고, 사라지는 것들을 Trace 파일에서 지정할 수 있다(Henriksen, 1999). Fig. 2.2(b)는 두 시스템의 시물레이션 결과를 PROOF5에 입력되는 Trace 파일의 예를 보여준다.

```

2.DS_MDI_2016_for animation lay - PROOF5
파일(F) 편집(E) 서식(C) 보기(V) 도움말(H)
Line 211039.018 423195.3621 211042.086 423197.2562
Line 211042.086 423197.2562 211038.3677 423205.391
Line 211042.086 423197.2562 211038.3677 423205.391
Line 211036.2844 423259.4342 211035.6773 423257.3179
Line 211034.3416 423276.3761 211035.1316 423270.3449
Line 211034.3416 423276.3761 211035.1316 423270.3449
Line 211035.1316 423270.3449 211039.1291 423270.2053
Line 211039.1291 423270.2053 211038.2129 423266.7363
Color F25
Line 209200 423470 210800 423470
Color F3
Text 2 64 CENTER 210000 423510 The Donghae office of Daesung MDI Co.
Color F25
Line 209200 423590 210800 423590
Fill 209207.7647 423484.3616
Line 209200 423550 209200 423470
Line 209200 423550 209200 423590
Line 209820 422490 210450 422490
Line 210450 422490 210450 422790
Color L10
Line 210984.2665 422489.4714 210984.6713 422489.2074
Line 210983.9228 422489.8197 210984.2665 422489.4714
Line 210987.368 422489.7164 210987.688 422490.1172
Line 210986.982 422489.39 210987.368 422489.7164
Line 210984.6713 422489.2074 210985.1204 422489.0386
Line 210986.5458 422489.1513 210986.982 422489.39
Line 210986.0773 422489.0099 210986.5458 422489.1513
Line 210985.5956 422488.9719 210986.0773 422489.0099
Line 210985.1204 422489.0386 210985.5956 422488.9719
Line 210988.1702 422491.8236 210989.65 422494.4357
Line 210983.1632 422491.4321 210988.1702 422491.8236

```

(a)

```

2.DMI_for animation ATF - PROOF5
파일(F) 편집(E) 서식(C) 보기(V) 도움말(H)
TIME 0.000
CREATE TRUCKU T1
PLACE T1 ON GO
SET T1 SPEED 5
TIME 180.000
CREATE TRUCKU T5
PLACE T5 ON GO
SET T5 SPEED 5
TIME 360.000
CREATE TRUCKU T6
PLACE T6 ON GO
SET T6 SPEED 5
TIME 540.000
CREATE TRUCKU T7
PLACE T7 ON GO
SET T7 SPEED 5
TIME 969.302
SET T1 COLOR F25
PLACE T1 ON BACK
SET T1 SPEED 5
WRITE M1 9.446
WRITE M2 4.688
WRITE M3 0.010
TIME 1167.048
SET T5 COLOR F25
PLACE T5 ON BACK
SET T5 SPEED 5
WRITE M1 9.446
WRITE M2 4.688
WRITE M3 0.010
TIME 1370.310

```

(b)

Fig. 2.2 Files required for conducting animations using PROOF5.

(a) Layout file. (b) Trace file.

2.3 시뮬레이션과 애니메이션의 결합

시뮬레이션 결과를 애니메이션으로 확인할 수 있도록 GPSS/H로 개발된 시뮬레이터와 PROOF5 프로그램을 결합하는 방법을 Fig. 2.3과 같이 제시하였다. 시뮬레이터가 운반시스템의 주요 지표 값들(.CSV file)과 PROOF5 프로그램에 입력되는 Trace 파일(.ATF file)까지 함께 출력할 수 있도록 GPSS/H 코드(.GPS file)를 작성하였다. 또한, 시뮬레이터로부터 생성된 Trace 파일과 사용자가 작성한 Layout 파일(.LAY file)을 PROOF5 프로그램에 입력하여 애니메이션을 구현할 수 있도록 하였다.

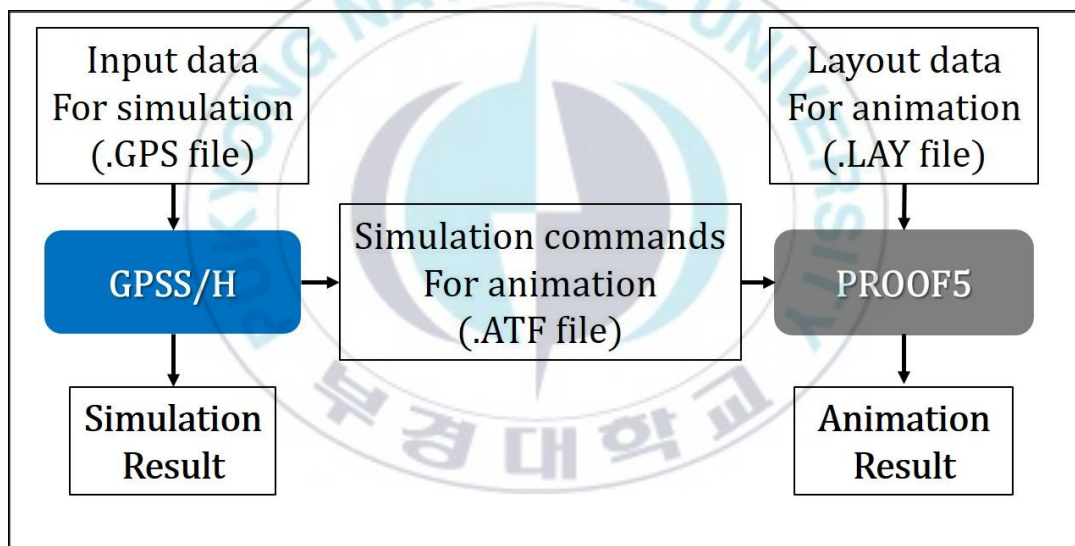


Fig. 2.3 Method for integrating GPSS/H simulation with PROOF5 animation.

Ⅲ. 지하광산 트럭-로더 운반시스템 시뮬레이션과 애니메이션

3.1 시스템의 구성요소 및 시뮬레이션 인자

본 연구에서는 강원도 삼척시 신기면 대평리에 위치한 (주)대성MDI 동해 사업소를 대상으로 하였다(Fig. 3.1). 연구지역에 관한 설명은 Park et al.(2016)에 상세하게 제시되어있으므로 참고하길 바란다.

이 광산의 인프라는 파쇄기가 있는 작업장, 갱구, 광산 내에 위치한 작업장들, 갱내외 운반도로, 비콘 설치지점 등이 있다. 파쇄기는 적재지점에서 운반한 광석을 용도에 맞게 파쇄하는 곳이고, 갱구는 갱내로 들어가는 입구로 갱외와 달리 1차선 도로이다. 광산 내에 위치한 작업장은 발파한 광석을 로더가 트럭에 적재하는 곳이다. 비콘 설치지점은 지정된 적재지점으로 이동하는 갱내외 운반도로에 비콘을 설치한 곳이다.

인프라 내 시스템 중 운반시스템은 광산에서 사용하는 트럭이 지정된 운반도로를 통해 로더가 위치한 작업장과 파쇄기가 있는 작업장 사이를 왕복하면서 광석을 운반하는 작업을 수행하고 있다.

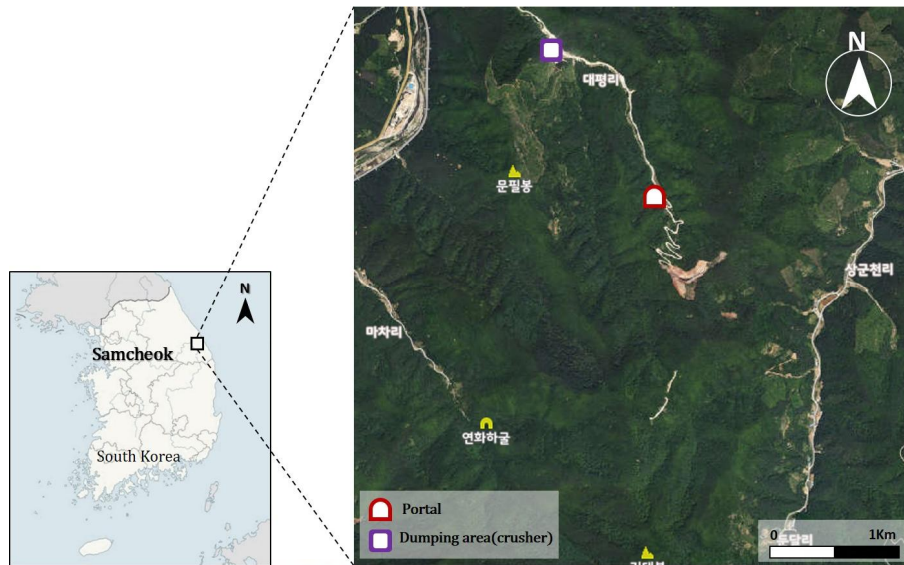


Fig. 3.1 Aerial view of the study area (image source: Vworld, <http://map.vworld.kr/map/maps.do>).

본 연구에서 트럭-로더 운반시스템의 핵심 인자는 광석을 적재하는 지점과 투하하는 지점에서 트럭의 단위작업과 관련한 시간 인자이다(Table 3.1). 갱구, 적재지점, 투하지점, 파쇄장에서 트럭의 대기시간, 이동시간, 적재시간, 투하시간, 접근시간이 있다. 이에 따라 장비들의 개수와 용량에 따라 지표가 달라질 수 있다.

Table 3.1 Definition of index for truck- loader haulage system simulator

Infra position	Haulage system	
	condition	time
At opening entrance	The number of truck	Waiting time Travel time
At loading point	The number of loader	Loading time
At dumping point	The number of crusher	Dumping time
At crusher	The capacity of crusher	Spotting time Time for measuring the ore weight

3.2 시뮬레이션 알고리즘 설계

3.2.1 가정조건

시뮬레이션을 위한 기본 가정 조건은 현장 조사 상황을 반영하였다. 2017년 현장조사 당시 연구지역에서는 540개 작업장에만 광석이 생산되었으며(Fig. 3.2), 540개 작업장에는 4대의 트럭이 고정 배차방식으로 운영되었다. 또한, 로더는 1대, 파쇄기는 2대(200 tph)가 운영되었다. 트럭이 이동하는 시간은 갯내외 운반도로 주요지점(station)을 6개 구간으로 나누어 설치된 비콘에서 측정한 값으로 한다. 이 값들은 Jung and Choi(2017)를 참고하여 4회 측정한 결과의 평균값으로 하였다. 또한 적재/투하 지점의 대기시간과 접근시간, 적재/투하시간은 Park et al.(2014b)를 참고하여 2014년 4월, 7월, 8월 총 3회의 현장 조사를 통해 조사한 20회 반복 측정 결과를 평균±표준편차 형태로 표현하였으며, Table 3.2에 정리하였다.



Fig. 3.2 Layout of the study area. Red color path represents the haulage route of dump trucks between the loading point at 540 ML and the dumping points.

Table 3.2. Time parameters required for the truck-loader haulage system simulation in the study area.

Parameter		Value(sec)
On road	Loaded truck	S1 → S2
		93.1
		S2 → Opening
		121.9
		Opening → S3
		244.4
	Empty truck	S3 → S4
		70.0
		S4 → S5
		80.4
		S5 → Loading point
		117.3
		Loading point → S5
		159.4
		S5 → S4
		90.3
		S4 → S3
		122.0
		S3 → Opening
		425.5
		Opening → S2
		165.2
		S2 → S1
		164.3
At loader	Waiting time in the queue	
	83.4 ± 28.2	
	Spotting time(wait in the queue)	
	48.0 ± 9.6	
At crusher	Spotting time(no wait in the queue)	
	29.4 ± 5.4	
	Loading time	
	176.4 ± 34.8	
At dump area	Waiting time in the queue	
	50.4 ± 9.6	
	Spotting time(with wait in the queue)	
	52.2 ± 10.2	
Etc.	Spotting time(without wait in the queue)	
	28.2 ± 5.4	
	Dumping time	
	35.4 ± 6.6	
Etc.	Spotting time	
	45.6 ± 9.0	
	Dumping time	
	35.4 ± 6.6	
Etc.	Waiting time for oncoming trucks	
	22.2 ± 4.2	
Etc.	Time for measuring the ore weight	
	37.2 ± 7.2	

3.2.2 터미널 운영방법 및 알고리즘 개발

트럭-로더 운반시스템에서는 트럭이 지정된 운반도로를 따라 이동하면서 시간의 흐름에 따라 사건이 발생한다. 본 연구에서는 식(1)과 같이 트럭순환이론(Suboleski, 1975)에 근거하여 알고리즘을 설계하였다.

$$TCT = STL+LT+TL+STD+DT+TE+AD \quad (1)$$

여기서 TCT는 트럭순환시간(truck cycle time), STL은 로더 근처로 트럭이 접근하는 시간(spotting time at the loader), LT는 적재작업시간(loading time), TL은 트럭이 투하지점으로 이동하는 시간(travel time of the loaded truck), STD는 투하지점 근처로 트럭이 접근하는 시간(spotting time at the dumping point), DT는 투하작업시간(dumping time), TE는 투하작업을 끝낸 트럭이 다시 적재장으로 이동하는 시간(travel time of the empty truck), AD는 평균 지연시간(average delay time)을 의미한다. 트럭-로더 운반시스템에서 발생하는 지연시간에는 운반갱도에서 마주 오는 트럭을 회피하기 위한 시간, 적재지점이나 투하지점에서 트럭의 대기행렬 발생으로 인한 대기시간, 계근대에서 트럭에 적재한 광석의 중량을 확인하기 위한 시간 등이 포함된다. 트럭순환이론에 대한 자세한 설명은 Choi(2011)에 제시되어있다.

과쇄장 또는 덤핑장에서 투하작업을 완료한 트럭은 공차인 상태로 적재지점으로 이동한다. 적재지점에 도착한 트럭은 로더의 이용 가능 여부에 따라 바로 로더로 접근할 것인지 대기할 것인지 선택한다. 만약 로더의 이용이 가능하다면 STL이 발생하며, 이용할 수 없다면 대기행렬에서 먼저 AD가 발생한 후 STL이 발생한다. 트럭에 로더가 광석을 적재할 때는 LT

가 발생한다. 실차상태의 트럭은 다시 갭/내외 운반도로를 따라 이동하며 TL이 발생한다. 투하지점에 도착한 트럭은 파쇄기를 사용할 수 있는 용량에 따라 파쇄기로 접근할지 야적장으로 갈지 결정한다(STD, DT). 이때에도 파쇄기를 사용하고 있는 트럭이 있다면 대기시간이 발생할 수 있다. 투하작업을 끝낸 트럭은 설정된 시물레이션 시간에 따라 적재지점으로 다시 이동할 것인지 아니면 시물레이션을 종료할 것인지를 결정한다.

Fig. 3.3은 연구지역 540개 작업장을 대상으로 트럭-로더 운반시스템 시물레이션 모델을 설계한 결과를 보여준다.



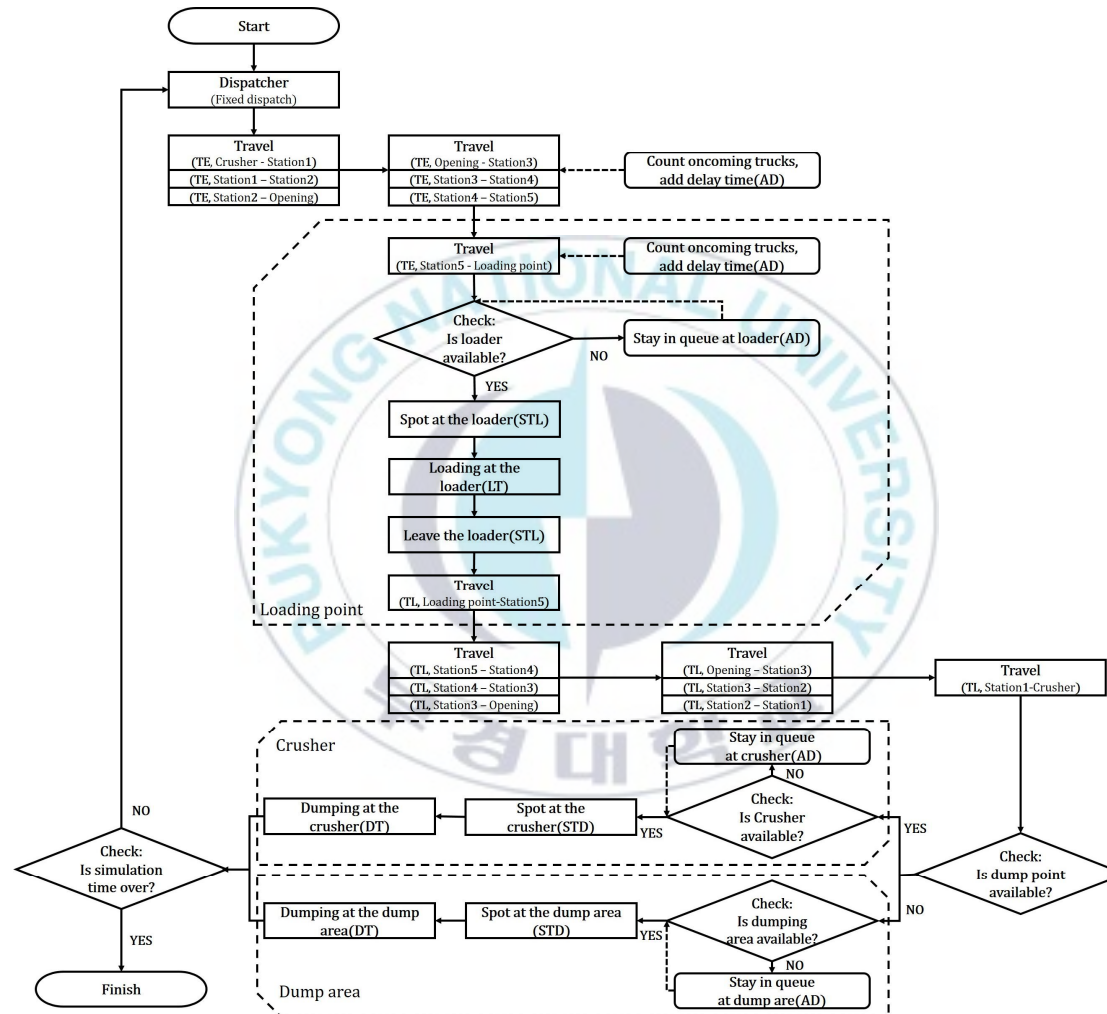


Fig. 3.3 Design of a model for simulating the truck-loader haulage system in the study area.

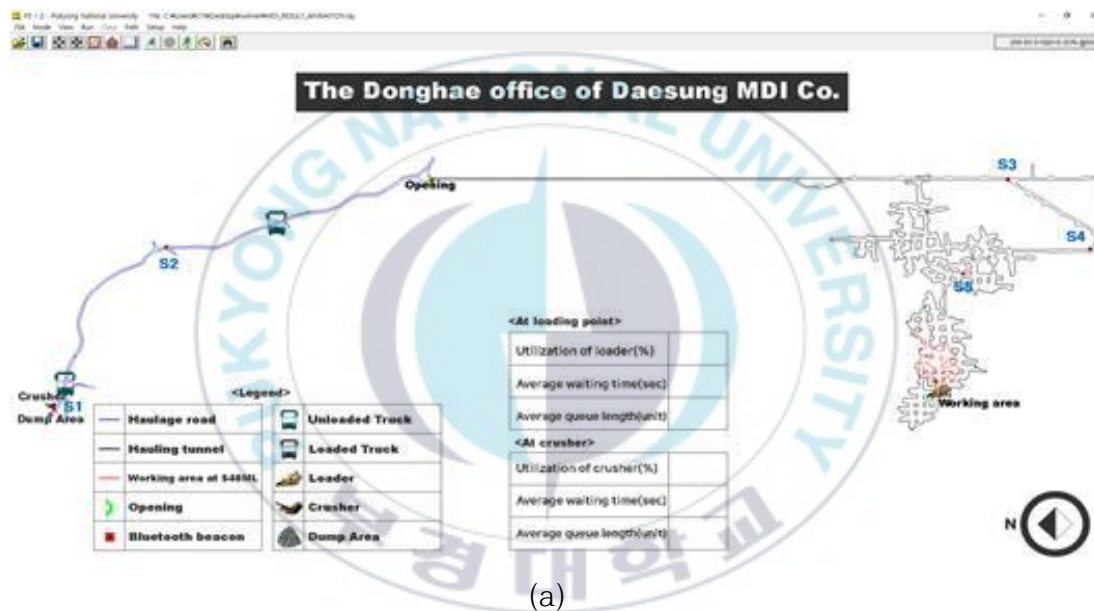
3.3 시뮬레이션과 애니메이션 결합 결과

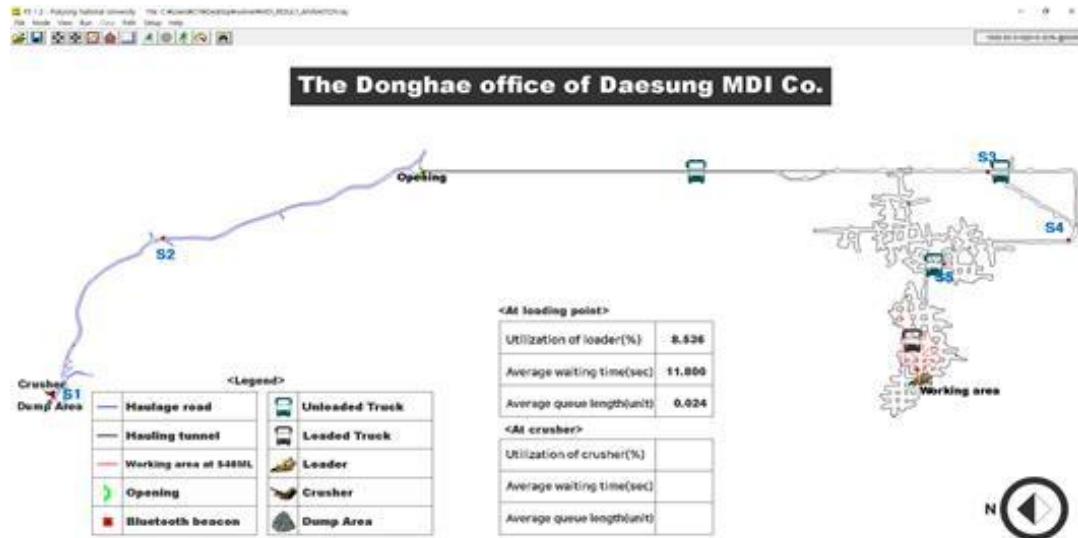
지하광산 트럭-로더 운반시스템 시뮬레이션 결과를 애니메이션으로 확인할 수 있도록 GPSS/H로 개발한 시뮬레이터와 PROOF5 프로그램을 결합하였다. 시뮬레이터가 트럭-로더 운반시스템의 주요 지표 값들뿐만 아니라 PROOF5 프로그램에 입력되는 Trace 파일(.ATF file)까지 함께 출력할 수 있도록 GPSS/H 코드(.GPS file)를 작성하였다. 또한, 시뮬레이터로부터 생성된 Trace 파일과 사용자가 작성한 Layout 파일(.LAY file)을 PROOF5 프로그램에 입력하여 애니메이션을 실행할 수 있도록 하였다.

지하광산 트럭-로더 운반시스템의 시뮬레이션 결과로서 생성된 Trace 파일을 PROOF5 프로그램에 입력하였다. 그 결과, 시간의 흐름에 따라 나타나는 사건들을 애니메이션을 통해 확인할 수 있었다(Fig. 3.4). Fig. 3.4(a)는 공차 상태의 첫 번째 트럭이 파쇄장으로부터 출발하여 S2-갱구 구간을 지나고 있을 때 두 번째 트럭이 파쇄장으로부터 출발하고 있는 모습을 보여준다. Fig. 3.4(b)는 시뮬레이션 시작 후 약 16분이 지났을 때의 모습이다. 4대의 트럭이 모두 투입되어 운반작업을 수행하고 있으며, 첫 번째 트럭이 적재지점에 도착했을 때의 로더의 사용률, 트럭의 대기시간 등의 지표 값들이 화면에 표시되었다. Fig. 3.4(c)는 시뮬레이션을 시작한 지 약 41분을 경과하여 두 번째 트럭이 광석을 싣고 파쇄장에 도착했을 때의 모습을 보여주며, 이때 파쇄기의 이용률, 트럭의 대기시간 등이 함께 화면에 표시되었다. 애니메이션을 통해 운반시스템의 주요 지표 값들이 트럭들의 어떤 단위 작업에 영향을 받고 있는지 확인할 수 있었다.

트럭들이 운반경로의 주요 지점들에 도착한 시간들을 Fig. 3.5에 나타내었다. 4대의 트럭 모두 구간별 이동시간을 동일하게 설정하여 시뮬레이션을 수행했기 때문에 파쇄장을 출발하여 로더에 도착할 때까지 주요 지점들

에 동일한 시간에 도착했다. 그러나 트럭마다 적재지점에서 적재작업 시간과 지연시간이 다르게 발생했기 때문에 실차상태의 각 트럭들이 파쇄장에 돌아올 때는 주요 지점들에 도착한 시간들이 달라진 것을 알 수 있다. 국내의 기존 시뮬레이션 연구에서는 시뮬레이션 결과 트럭의 총 이동 시간만 알 수 있었으나, 본 연구에서는 애니메이션을 통해 구간별로 트럭 이동 시간이 어떻게 달라지고 있는지 확인할 수 있었다. 또한 각 지점에서 발생한 트럭의 대기시간, 로더의 이용률 등을 확인할 수 있었다.





(b)



(c)

Fig. 3.4 Visualization of the simulation results though animation. (a) At 200 sec. (b) At 1000 sec. (c) At 2500 sec.

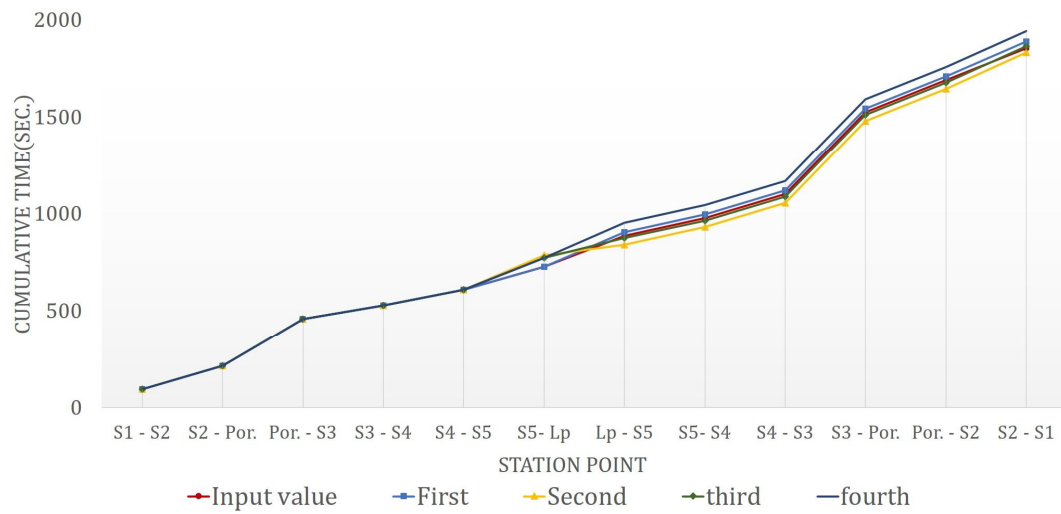
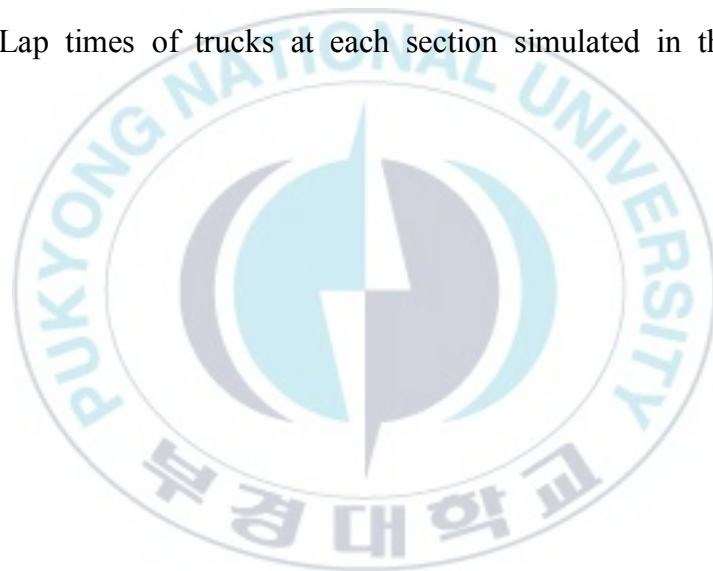


Fig. 3.5 Lap times of trucks at each section simulated in the study area.



IV. 인터모달 자동화물운송시스템

시물레이션과 애니메이션

4.1 시스템의 구성요소 및 시물레이션 인자

본 연구에서는 컨테이너 터미널의 인프라를 구축하여 컨테이너를 운송하는 새로운 시스템을 도입하였다. 내륙에 위치한 컨테이너 터미널 간에 컨테이너를 효율적으로 운송하기 위해 인터모달 자동화물운송시스템을 이용하였다. 인터모달 자동화물운송시스템은 화차주행시스템과 터미널 인프라, 터미널 장비들로 구성되어있다. 화차주행시스템에는 터미널 인프라 간 사이를 연결하는 철도가 있다. 컨테이너를 이송하는 화차가 지정된 철로를 통해 이동한다. 철로는 단선철로, 단선회피, 복선철로로 나뉘어 있고, 원하는 철로를 선택할 수 있다.

터미널 인프라에는 플랫폼, 상/하차 대기구역, 새시 대기구역, 환적공간, 도로, 게이트가 있다. 플랫폼은 화차가 터미널로 진입하는 공간이고, 플랫폼 양쪽으로 전용트랙터가 새시 컨테이너를 화차에 하역하기 위해 대기하는 상/하차 대기구역이 있다. 도로는 개인트랙터, 전용트랙터와 같은 터미널 장비들이 이동하는 공간이고, 게이트는 개인트랙터가 터미널 안으로 진입하거나 밖으로 진출하는 공간이다. 또한 컨테이너가 없는 새시를 대기하는 새시 대기구역이 있고, 트랙터들의 새시에 적재된 컨테이너를 하역하는 환적공간이 있다.

터미널 장비에는 전용트랙터, 개인트랙터, 상/하차 대기구역의 전용트랙터, 새시, 환적장비가 있다. 전용트랙터는 터미널 내에서만 사용되는 장비로 새시에 적재된 컨테이너를 화차에 상/하차 시킨다. 개인트랙터는 터미

널 외부에서 내부로 컨테이너를 반입하거나 터미널 내부에서 외부로 컨테이너를 반출한다. 새시는 컨테이너를 싣는 차대로 적재된 컨테이너가 없는 경우 새시대기구역에서 대기한다. 환적장비는 개인트랙터와 전용트랙터의 새시에 적재된 컨테이너를 환적공간에 하역하거나 환적공간에 있는 컨테이너를 하역하는 경우에 사용한다. 인터모달 자동화물운송시스템의 구성요소를 Fig. 4.1에 모식도로 나타내었다.



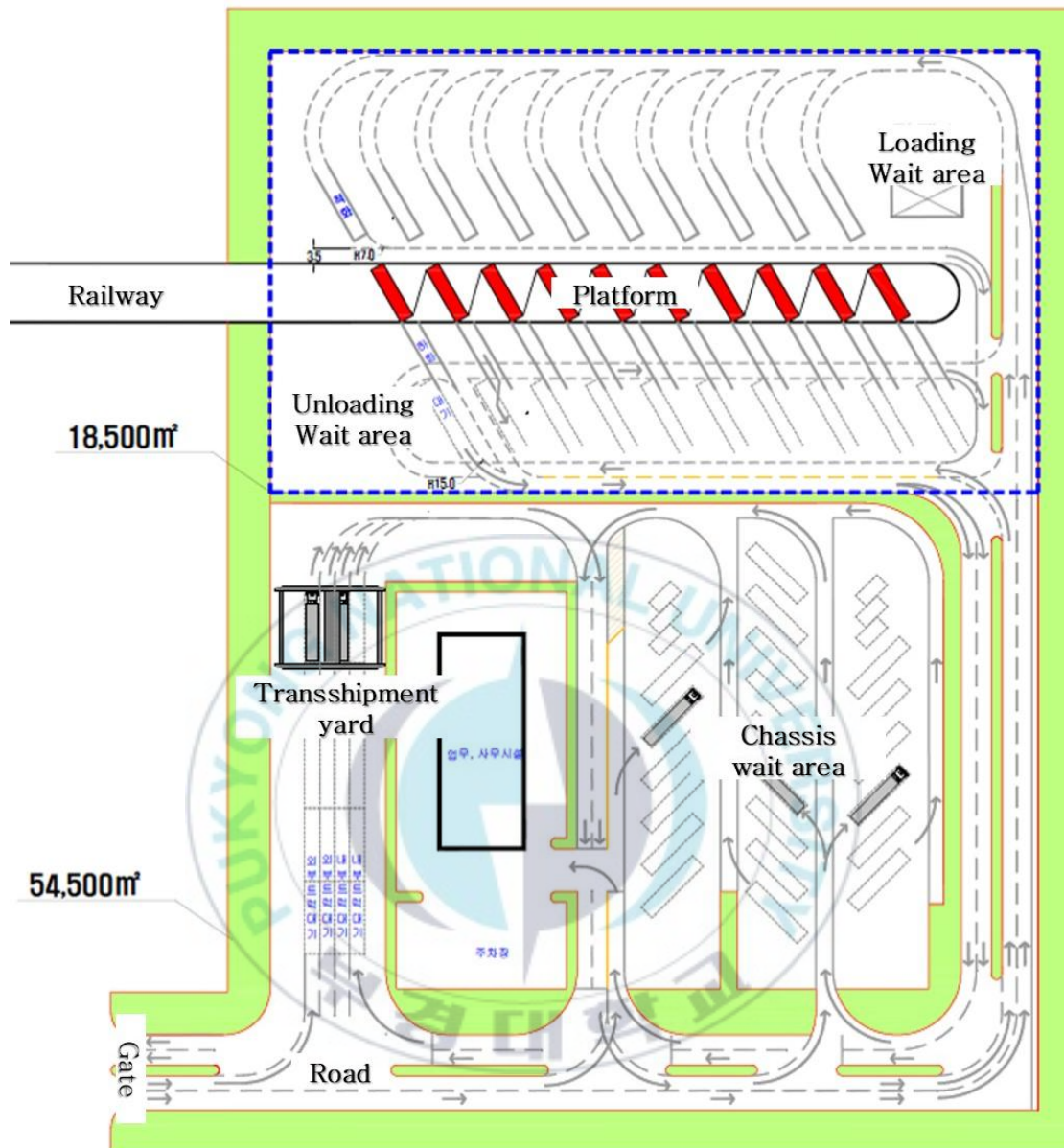


Fig. 4.1 Layout of the study area.

본 연구의 인터모달 화물운송시스템의 핵심인자는 터미널 인프라 및 장비 관련인자, 화차의 컨테이너 이송 관련 인자로 구분할 수 있다. 터미널 인프라 및 장비 관련 인자는 상/하차 대기구역, 채시 대기구역, 환적 공간과 같은 시설물의 배치, 컨테이너를 상/하차하는 대기선로의 수, 트랙터의 대수, 환적 장비의 대수, 채시의 대수 등이 있다. 또한 시간 인자로서 터미널 내의 장비들의 이동시간, 개인트랙터의 게이트 진입/출 시에 대기 시간, 환적 시간 등이 영향을 줄 수 있다. 화차의 컨테이너 이송 관련 인자는 화차에 상/하차하는 컨테이너의 수, 터미널 간의 화차의 이동시간, 상/하차 작업시간 등이 있다. 시뮬레이션을 위한 핵심 인자는 Table. 4.1에 나타내었다.

Table 4.1 Definition of index for intermodal automated freight transport system simulator

Infra of terminal and Tractor		Train system	
Time	Condition	Time	Condition
Travel time	The number of crane	Waiting time of platform entrance	The number of train
Transshipment time	The number of yard tractor in wait area	Stay time of train	The number of track
Loading time	The number of yard tractor	Travel time between terminal A and terminal B	The number of container in wait area
Unloading time	The number of personal tractor	Loading time in track	The number of container in train
Spotting time	The number of chassis	Unloading time in track	

4.2 시뮬레이션 알고리즘 설계

4.2.1 가정조건

시뮬레이션을 위한 기본 가정 조건은 다음과 같다. 컨테이너 터미널 A와 B에서 발생하는 사건은 같다. 화차의 대수는 하역작업을 수행하는 트랙터의 수보다 많고, 화차에 전용트랙터의 새시만 상차할 수 있다. 전용트랙터는 터미널 외부에서 내부로 진입하거나, 내부에서 외부로 진출하지 않는다. 개인트랙터는 사용자가 원하는 비율로 화차가 들어오는 시간에 따라 환적공간과 상/하차대기구역으로 나뉘어서 이동한다. 환적공간으로 가는 개인트랙터는 개인 새시를, 상/하차대기구역으로 가는 개인트랙터는 전용 새시를 부착하여 출발한다. 새시 대기구역에 있는 새시의 개수는 무한히 많고, 상/하차 대기구역에는 화차로 컨테이너를 하역하는 전용트랙터 1대가 대기하고 있다. 이 전용트랙터는 화차에 있는 컨테이너가 담긴 새시를 하차 후에 상차작업을 시작한다.

처음 시뮬레이션을 시작할 때 상차대기구역에는 컨테이너가 5개가 놓여있고, 환적공간에 컨테이너가 1개 놓여있다고 가정하였다. 또한 터미널 내의 트랙터의 운행속도는 터미널에서 실제 운송장비의 규정 속도인 20Km/h로 하역시간은 17초로 한다. 상/하차대기구역에 있는 전용트랙터 1대는 셔틀캐리어장비와 비슷한 특징이 있으므로 운송속도는 300m/min으로 하역시간은 17초로 한다(Ha and Choi, 2005).

4.2.2 터미널 운영방법 및 알고리즘 개발

컨테이너 터미널 운영의 큰 틀은 다음과 같다. 화차가 터미널 A에 도착하면 대기구역의 전용트랙터가 컨테이너가 담긴 새시를 하차작업을 수행 후, 대기구역에 있는 컨테이너가 담긴 새시를 상차하는 작업을 한다. 상/하차 작업이 끝난 화차는 터미널 B로 이동한다. 또한 개인트랙터와 전용트랙터가 대기구역에 있는 컨테이너를 적화/하화하는 작업을 한다.

이 프로세스에 대해 자세히 나타내면, 터미널에서 발생하는 사건이 이용하는 트랙터에 따라 작업 상태를 정의하였다. 작업 상태를 나타내는 용어를 작업시간, 터미널 위치, 트랙터의 종류, 작업 상황, 작업위치 순으로 표현하였다. 작업시간을 나타내는 용어는 CT(체크시간), TT(이동시간), QT(대기시간), LT(체결시간), DT(분리시간)이 있고, 터미널의 위치는 A와 B가 있다. 트랙터의 종류는 PT(개인트랙터), YT(전용트랙터), WT(대기구역에 있는 전용트랙터)가 있다. 작업 상황은 숫자 1 - 4로 표현하였다. 하차작업의 개인트랙터는 전용새시를 보유함에 따라 1, 2로 나누고 상차작업의 개인트랙터도 3, 4로 나타낸다. 전용트랙터는 전용새시만 보유하므로 하차작업이 1, 상차작업이 2이다. 각 장비가 작업하는 위치에 따라 작업위치는 G(게이트), T(환적 공간), R(화차의 플랫폼), P(하차대기구역), W(상차대기구역), C(새시대기구역)가 있다.

다음은 터미널 A에서 개인트랙터와 전용트랙터, 상/하차 대기구역에 있는 전용트랙터의 작업 상태를 정의하였다.

● 하차작업

- 개인트랙터(전용새시를 보유함)

- CTAPT1G: 새시를 체결하지 않은 개인트랙터가 진입처리를 위해 진입

게이트에서 대기

- TTAPT1P: 진입 게이트에서 하차대기구역으로 이동
- STAPT1P: 하차대기구역으로 진입 전 접근 이동
- LTAPT1P: 하차대기구역에 하화된 새시 컨테이너를 체결
- TTAPT1G: 하차대기구역에서 진출 게이트로 이동
- CTAPT1G: 진출처리를 위해 진출 게이트에서 대기

• 개인트랙터(개인새시를 보유함)

- CTAPT2G: 새시를 체결하지 않은 개인트랙터가 진입처리를 위해 진입

게이트에서 대기

- TTAPT2T: 진입 게이트에서 환적공간으로 이동
- STAPT2T: 환적공간으로 진입 전 접근 이동
- LTAPT2T: 환적공간에 있는 새시 컨테이너나 전용트랙터의 새시 컨테이너를 환적
- TTAPT2G: 환적공간에서 진출 게이트로 이동
- CTAPT2G: 진출처리를 위해 진출 게이트에서 대기

• 전용트랙터

- TTAYT1P: 새시를 체결하지 않은 전용트랙터가 하차대기구역으로 이동
- STAYT1P: 하차대기구역에 진입 전 접근 이동
- LTAYT1P: 하차대기구역에 하화된 새시 컨테이너를 체결
- TTAYT1T: 하차대기구역에서 환적공간으로 이동
- UTAYT1T: 환적공간에서 새시 컨테이너를 개인트랙터나 환적공간에 환적
- TTAYT1C: 환적공간에서 새시대기구역으로 이동

- 하차 대기구역의 전용트랙터
- QTAWTPP: 새시를 체결하지 않은 전용트랙터가 하차대기구역에서 대기
- TTAWTPR: 하차대기구역에서 화차로 이동
- STAWTR: 하차대기구역에 진입 전 접근 이동
- LTAWTR: 화차의 새시 컨테이너를 체결
- TTAWTRP: 화차에서 하차대기구역으로 이동
- UTAWTP: 하차대기구역에 새시 컨테이너를 분리
- TTAWTPW: 하차대기구역에서 상차대기구역으로 이동(하차대기구역에 있는 컨테이너를 모두 하차시킨 후에 발생)

● 상차작업

- 개인트랙터(전용새시를 보유함)
- CTAPT3G: 새시를 체결한 개인트랙터가 진입 처리를 위해 진입 게이트에 대기
- TTAPT3W: 진입게이트에서 상차대기구역으로 이동
- STAPT3W: 상차대기구역에 진입 전 접근 이동
- UTAPT3W: 상차대기구역에 새시 컨테이너를 분리
- TTAPT3G: 상차대기구역에서 진출 게이트로 이동
- CTAPT3G: 진출처리를 위해 진출 게이트에서 대기
- 개인트랙터(개인새시를 보유함)
- CTAPT4G: 새시를 체결한 개인트랙터가 진입 처리를 위해 진입 게이트에 대기

- TTAPT4T: 진입게이트에서 환적공간으로 이동
- STAPT4T: 환적공간으로 진입 전 접근 이동
- UTAPT4T: 환적공간에 있는 새시 컨테이너나 전용트랙터의 새시 컨테이너를 환적
- TTAPT4G: 환적공간에서 진출 게이트로 이동
- CTAPT4G: 진출처리를 위해 진출 게이트에서 대기

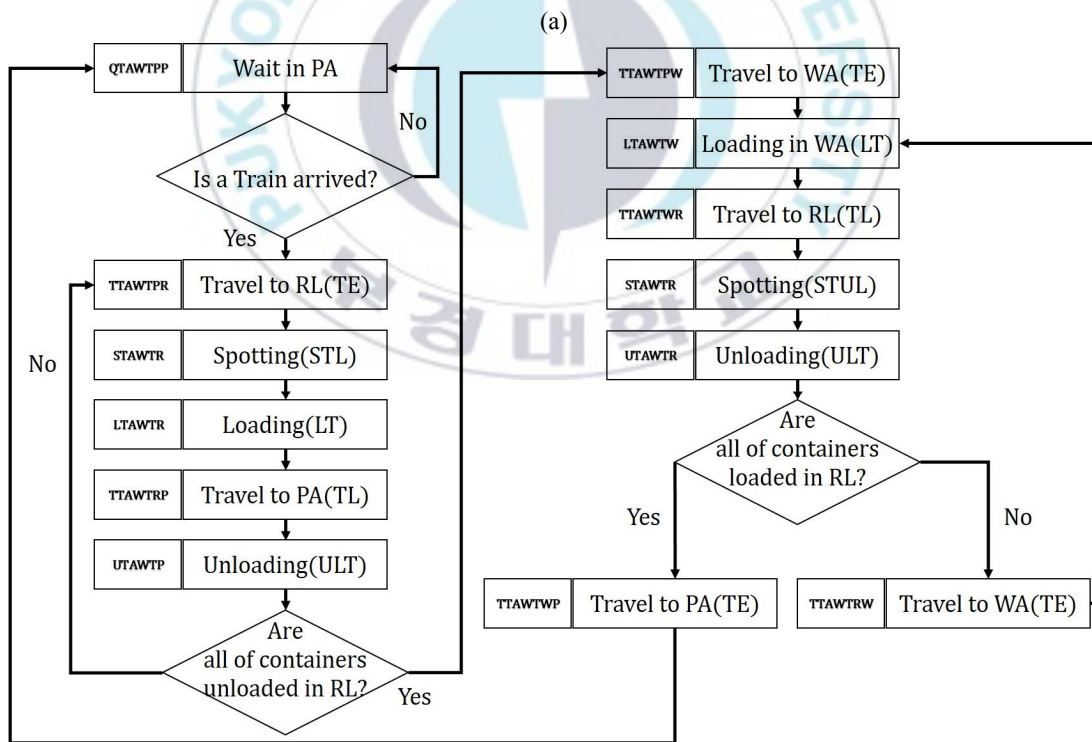
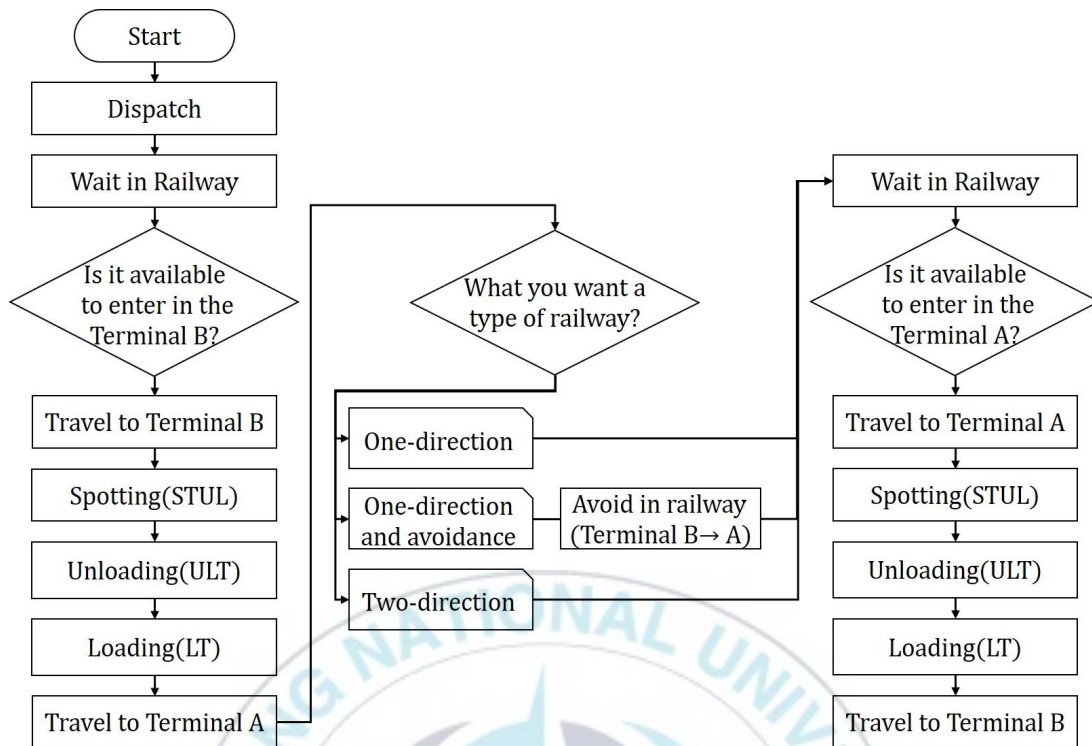
- 전용트랙터

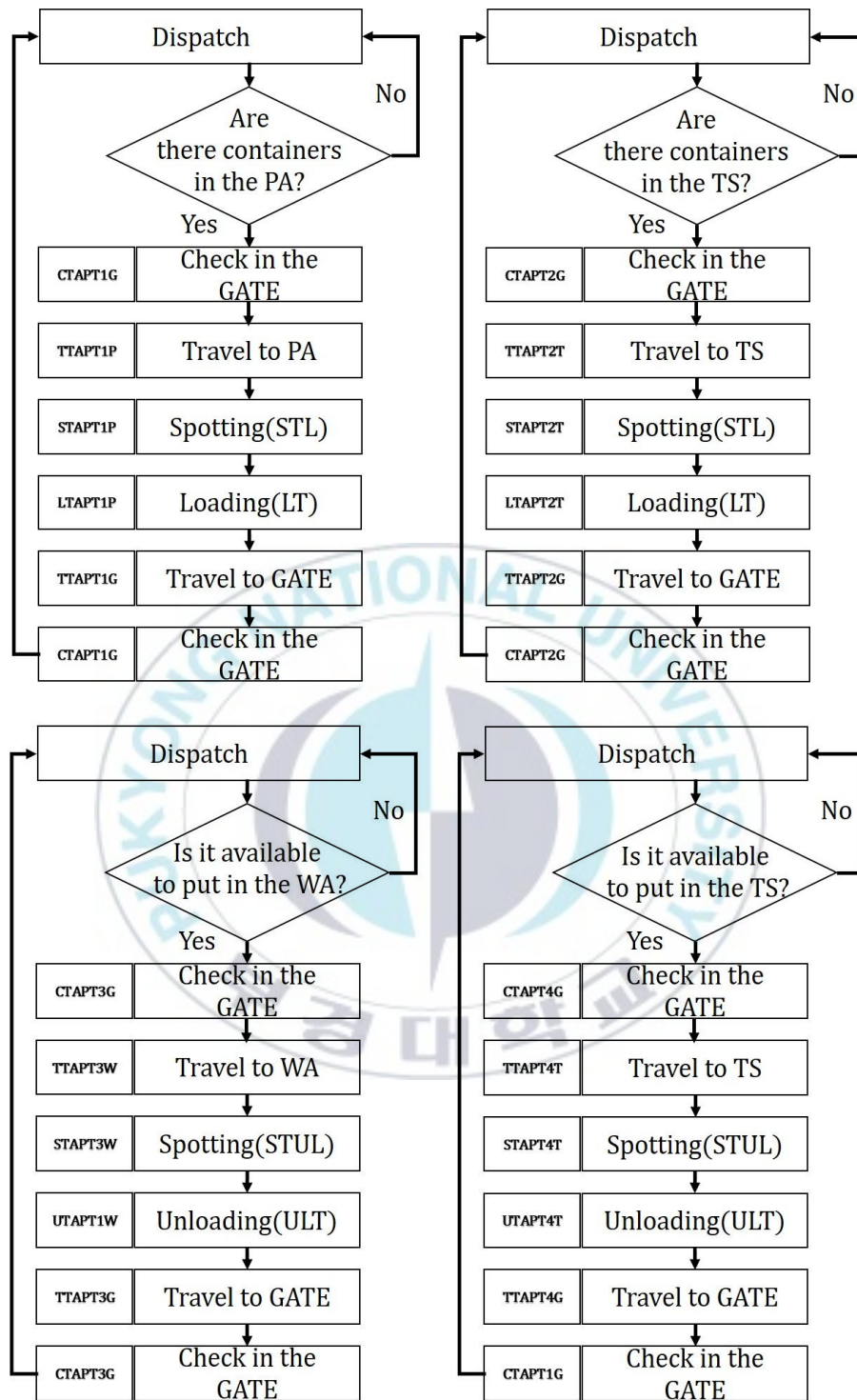
- TTAYT2T: 새시를 체결하지 않은 전용트랙터가 환적공간으로 이동
- LTAYT2P: 환적공간에 있는 새시 컨테이너나 개인트랙터의 새시 컨테이너를 환적
- TTAYT2W: 환적공간에서 상차대기구역으로 이동
- STAYT2W: 상차대기구역에 진입 전 접근 이동
- UTAYT2W: 상차대기구역에 새시 컨테이너 분리
- TTAYT2C: 상차대기구역에서 새시대기구역으로 이동

- 상차 대기구역 전용트랙터

- LTAWTW: 상차대기구역에 있는 새시 컨테이너를 체결
- TTAWTWR: 상차대기구역에서 화차로 이동
- STAWTR: 화차에 진입 전 접근 이동
- UTAWTR: 화차의 새시 컨테이너를 분리
- TTAWTRW: 화차에서 상차대기구역으로 이동

터미널의 운영 방법과 트럭순환이론을 바탕으로 시뮬레이션 알고리즘을 설계하였다. 시뮬레이션 알고리즘은 Fig. 4.2에 나타내었다.





(c)

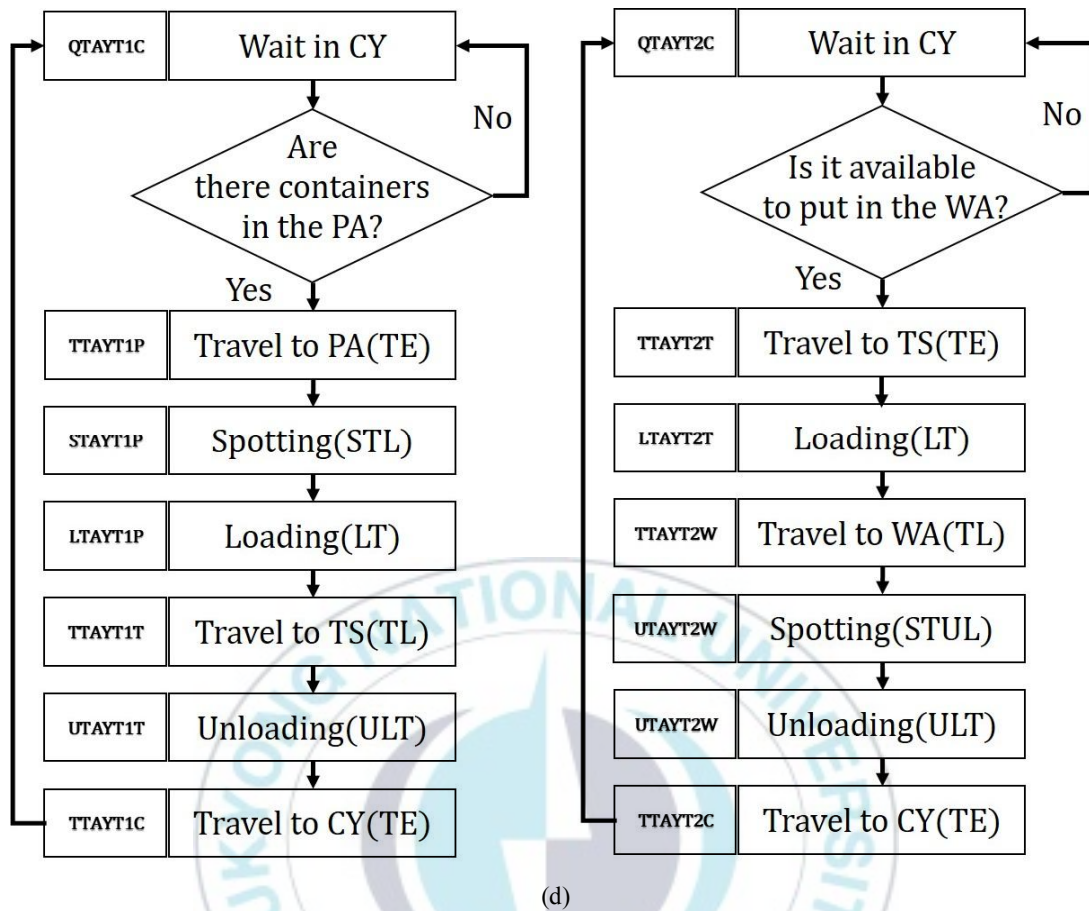


Fig. 4.2 Design of a model for simulating the intermodal automated Freight Transport system in the study area. (a) Train system (b) Yard Tractor in wait area. (c) Personal Tractor (d) Yard Tractor

4.3 시뮬레이션과 애니메이션 결합 결과

컨테이너 터미널의 인터모달 자동화물운송시스템 시뮬레이션 결과를 애니메이션으로 확인할 수 있도록 GPSS/H로 개발된 시뮬레이터와 PROOF5 프로그램을 결합하는 방법을 적용하였다. Fig. 4.3와 같이 시뮬레이션과 애니메이션을 결합하였다.

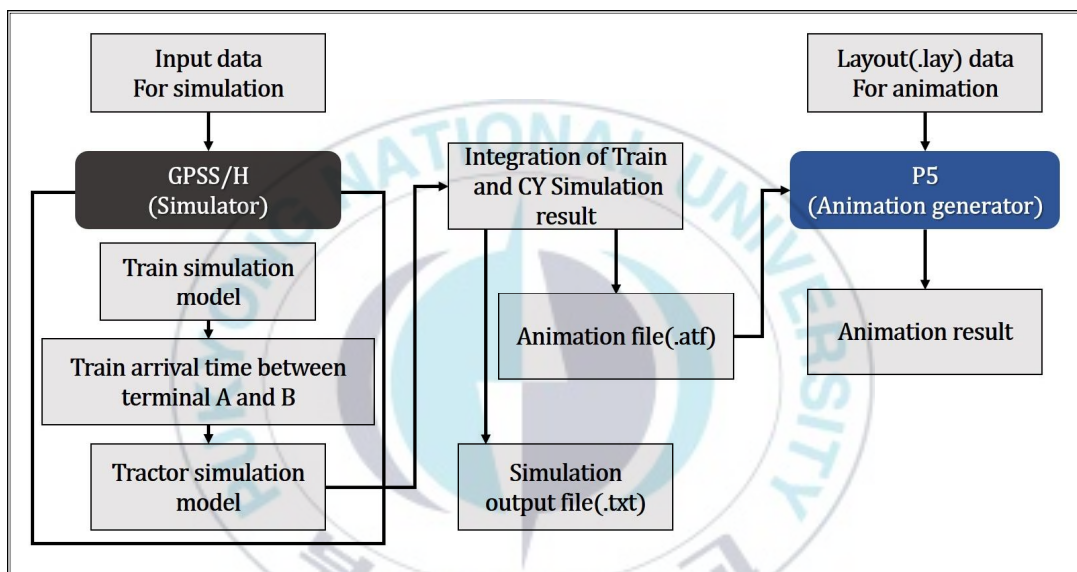
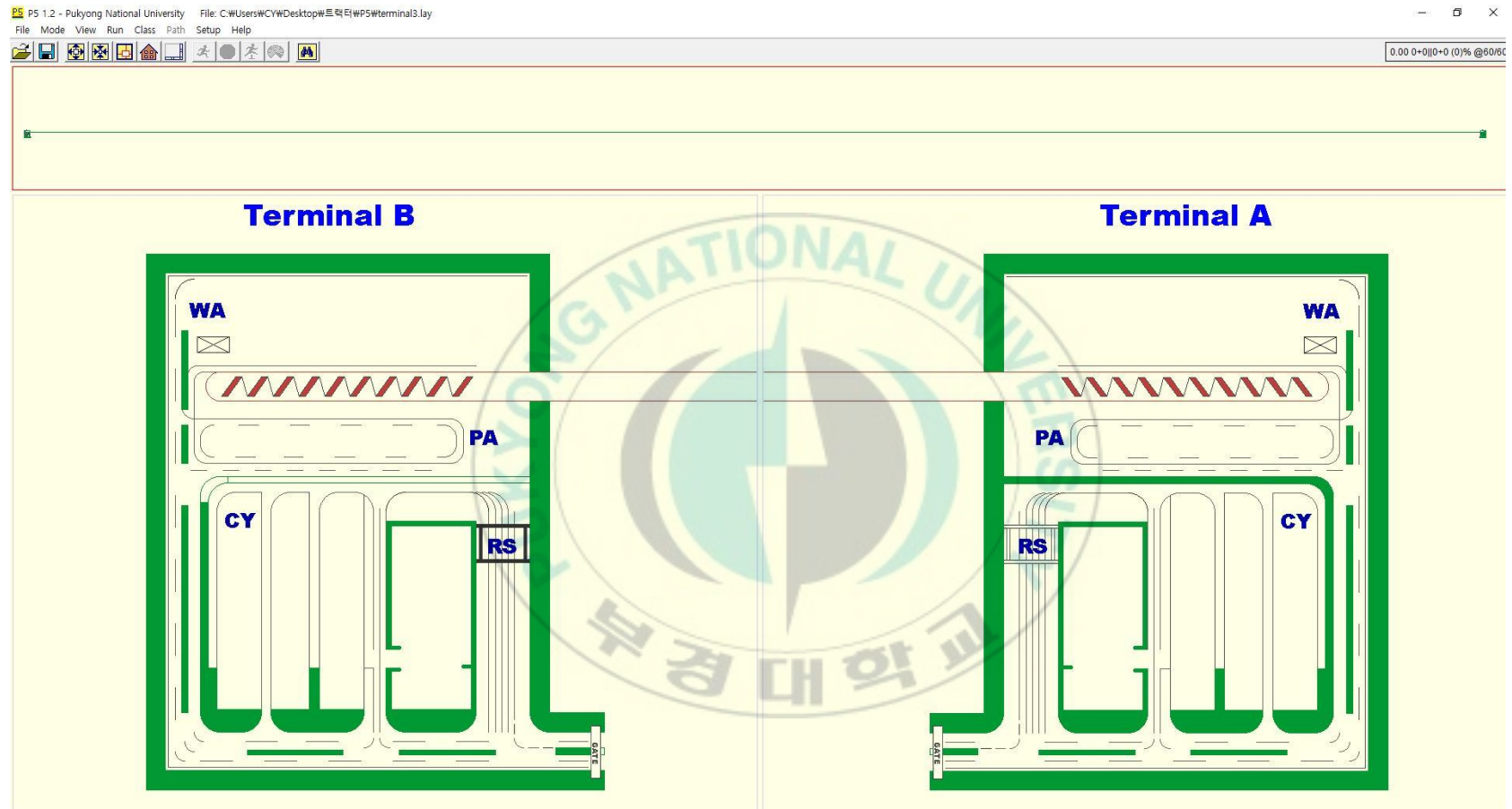


Fig. 4.3 Integration of intermodal automated freight transport system simulation with animation.

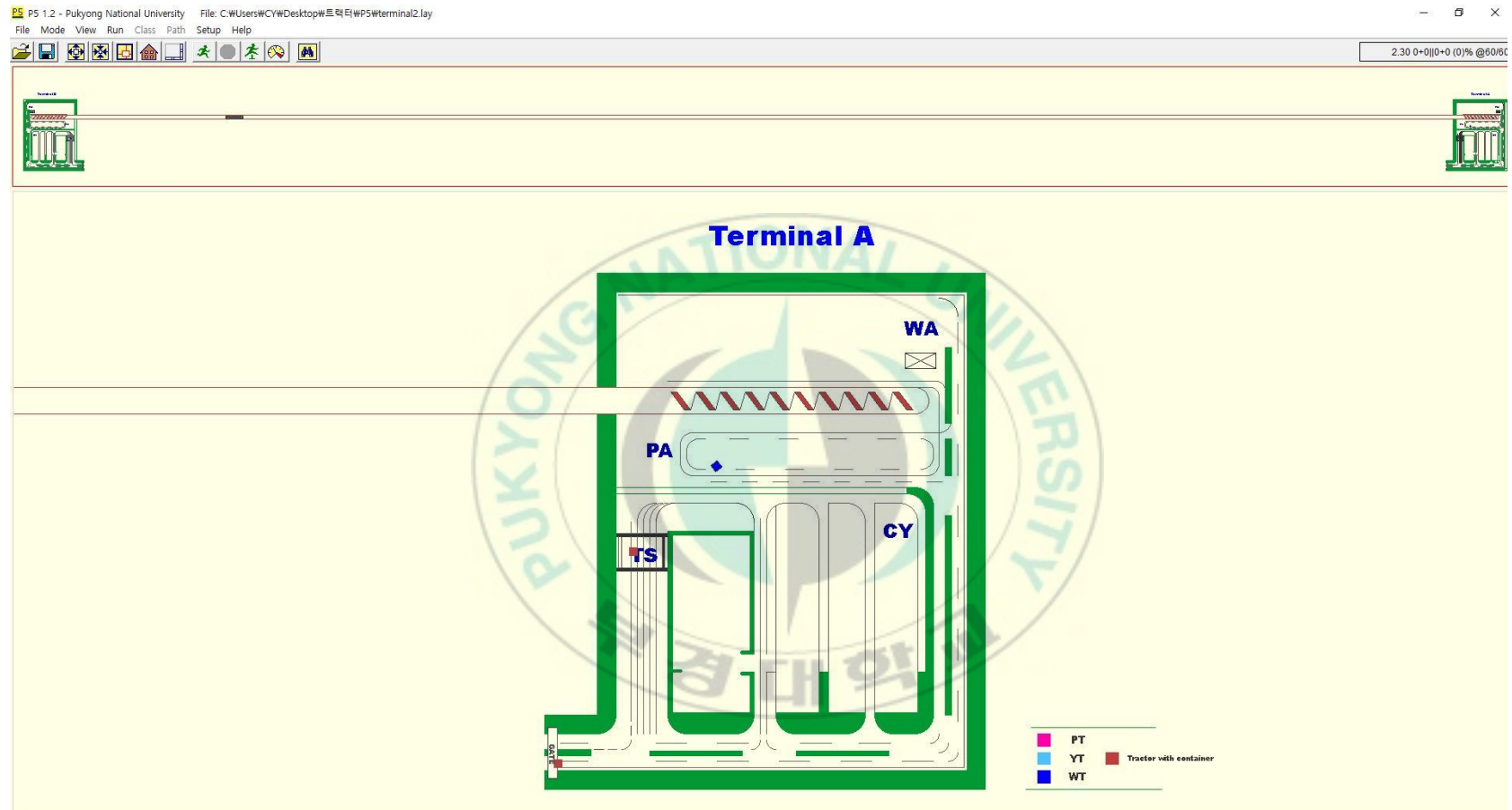
GPSS/H에서 인터모달 자동화물운송시스템을 위한 화차주행시스템과 컨테이너터미널의 트랙터들의 인자를 구성하여 시뮬레이션 모델을 만들었다. 시뮬레이션 결과로서 생성된 Trace 파일을 PROOF5 프로그램에 입력하여 시간의 흐름에 따라 나타나는 사건들을 애니메이션을 통해 확인할 수 있었다(Fig. 4.4). Fig.4.4(a)는 컨테이너터미널 A와 B, 화차의 철도의 모습을 전체적으로 나타내었다. 본 연구에서는 컨테이너터미널 A와 B에서 발생하는

사건은 같다고 가정했기 때문에 애니메이션상에서 좀 더 자세히 볼 수 있도록 컨테이너 터미널 A에 초점을 맞춰서 나타내었다.

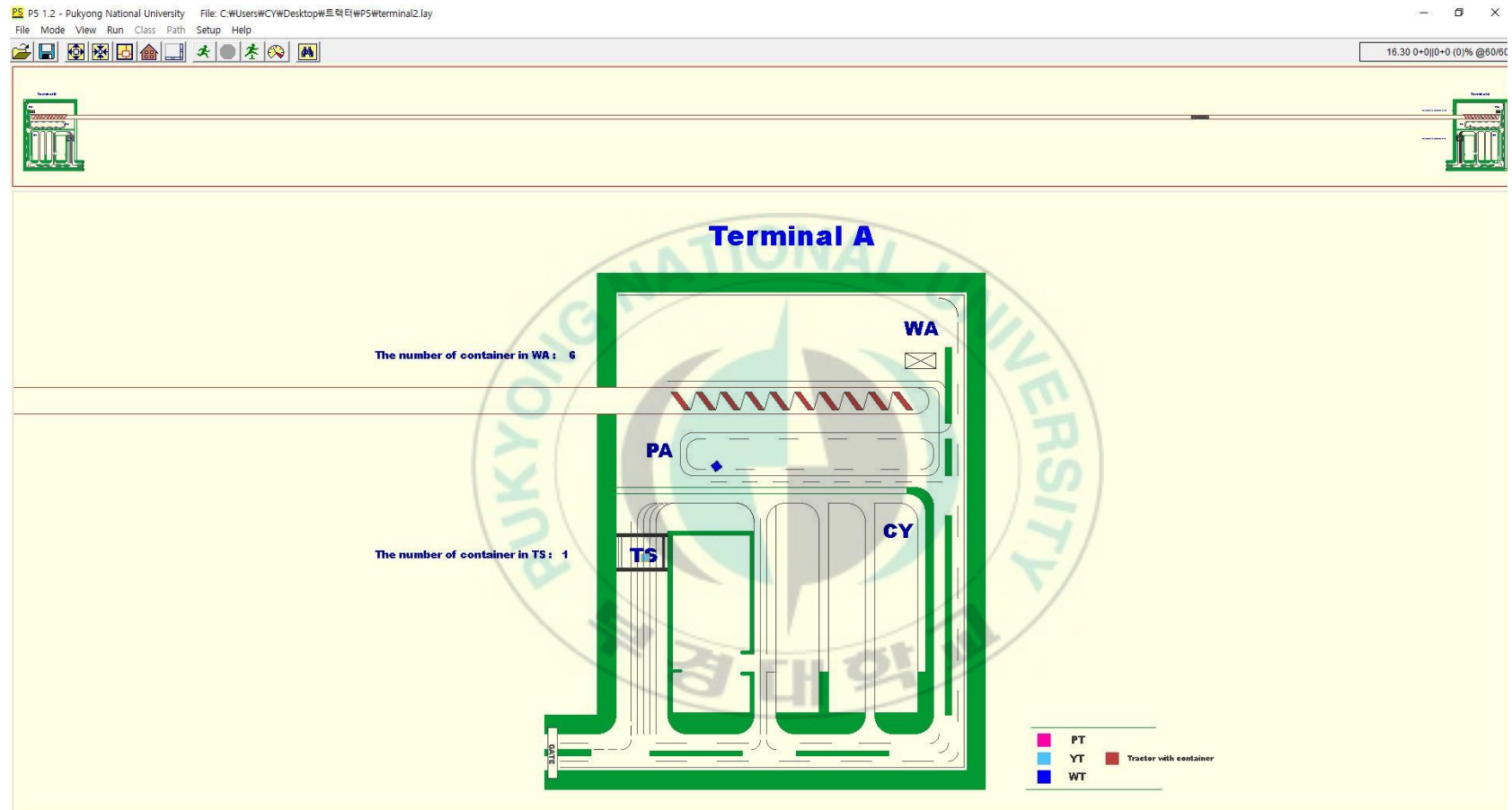
화차가 도착하기 전까지 터미널 내의 상황은 다음과 같다. 터미널 B로 컨테이너를 운송하기 위해 상차대기구역으로 개인트랙터가 컨테이너를 들고 이동한다. 이때 개인트랙터가 환적공간으로 이동하는 것은 개인새시를 보유한 상태로 진입하였기 때문에 환적장비를 이용해 컨테이너만 하역한다(Fig.4.4(b)). 환적공간에 컨테이너가 있으면 전용트랙터가 전용새시를 체결하여 컨테이너를 환적하여 상차대기구역으로 이동하여 하역한다(Fig.4.4(c), Fig.4.4(d)). 화차가 도착하면 하차대기구역에 있던 전용트랙터가 컨테이너를 하차시킨다. 화차 내의 컨테이너를 모두 하차하면 상차대기구역으로 이동하여 놓여있는 컨테이너를 상차시킨다(Fig.4.4(e)). 이처럼 화차가 도착하기 전후로 컨테이너 터미널에서 트랙터들이 유동적으로 사건들이 발생한다.



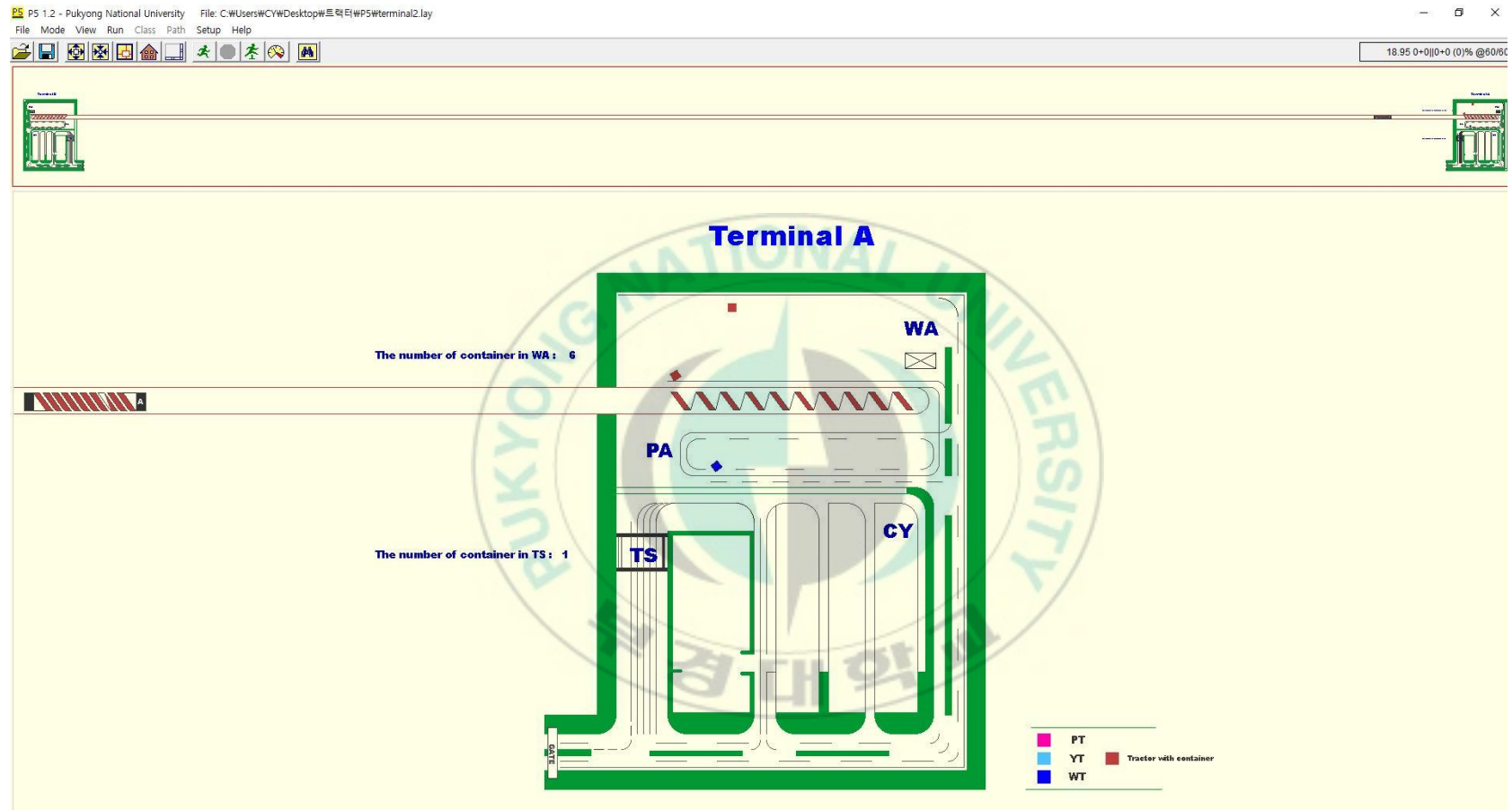
(a)



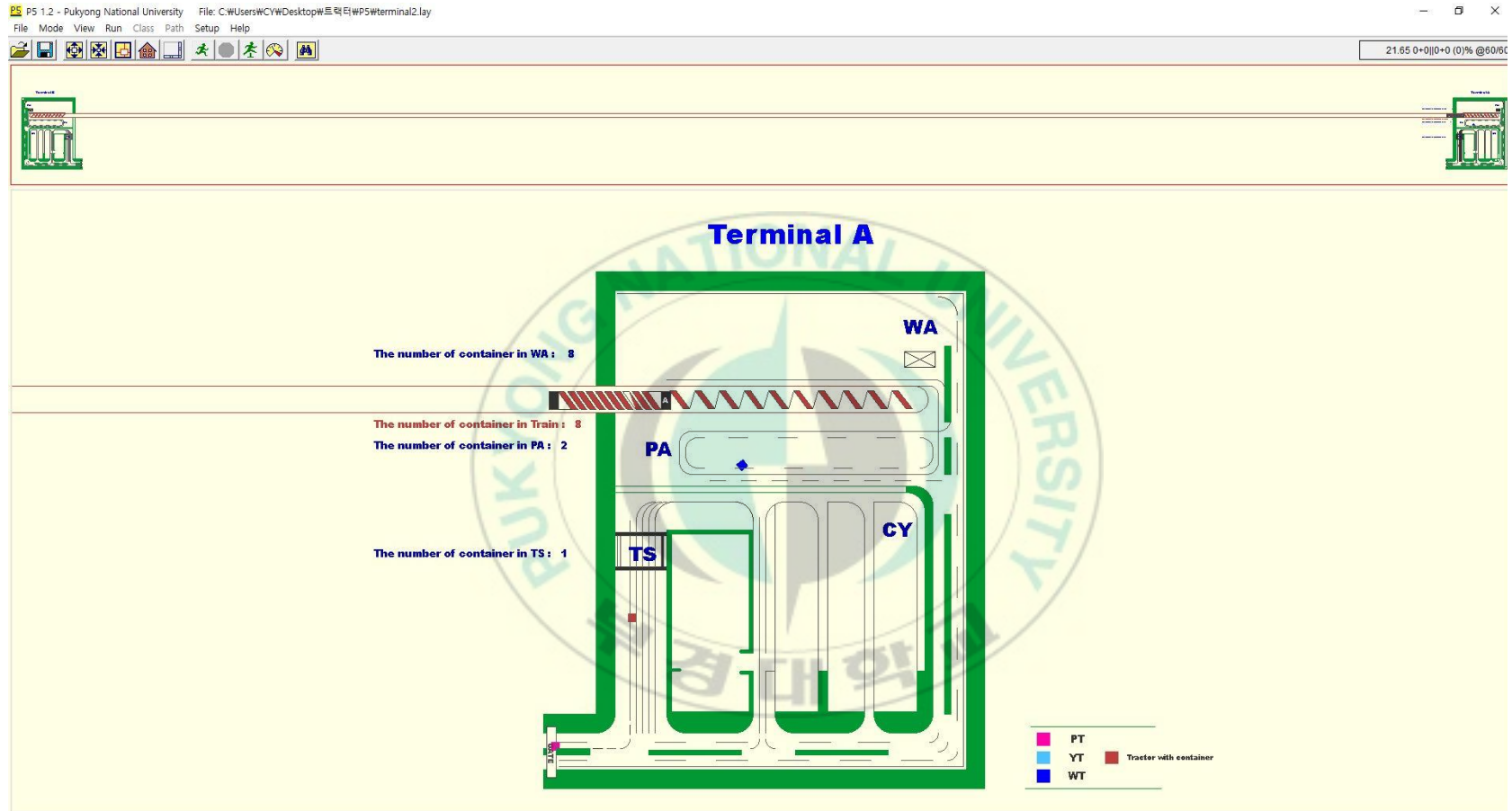
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 4.4 Visualization of the simulation results though animation. (a) Outline of overall system (b) Personnel Tractor's act. (c) Yard Tractor's act 1. (d) Yard Tractor's act 2. (e) Yard Tractor's act. in wait area.

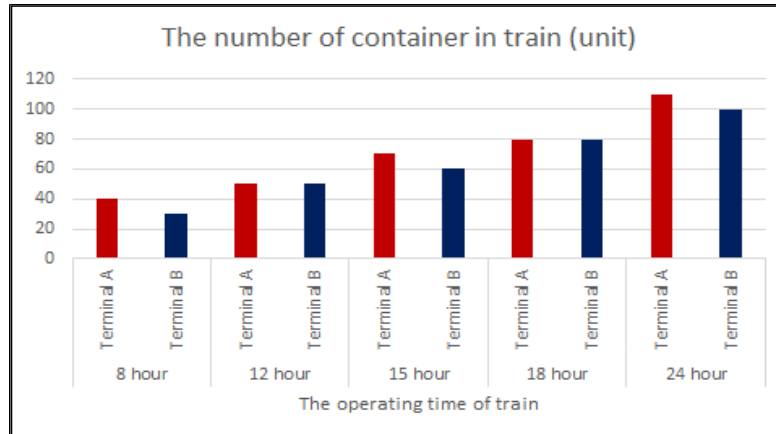
개발된 시뮬레이션 프로그램과 가정한 인자 값들을 이용하여 화차주행시스템에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 철로의 유형, 배차된 화차의 개수, 터미널 사이의 이동시간, 화차의 하루 운행시간에 따라 달라지는 결과를 다음과 같이 나타내었다.

가상의 터미널 A에 화차 1대를 배치하고, 터미널 사이의 이동시간이 1시간 일 때 화차의 하루 운행시간을 변화시키면서 시뮬레이션을 수행한 결과는 Fig. 4.5와 같다. 하루 운행 시간이 증가할수록 운반되는 컨테이너 수는 늘지만 터미널 설비의 이용률과 터미널 내 전용트랙터의 이용률에는 큰 차이가 없다고 분석이 되었다. 이는 터미널 사이의 이동시간이 짧기 때문에 나타난 결과이다. 그러므로 이용률이 높고 운반되는 컨테이너 수가 많이 나타난 하루에 18시간을 운행하는 것을 기준으로 터미널 사이의 이동시간을 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였다(Fig. 4.6). 그러나 터미널 사이의 이동시간이 1시간 이상일 경우 터미널 설비의 이용률이 급격히 감소한다. 이는 터미널 내 운행하는 트랙터들의 이동속도와 하역시간이 짧기 때문이다.

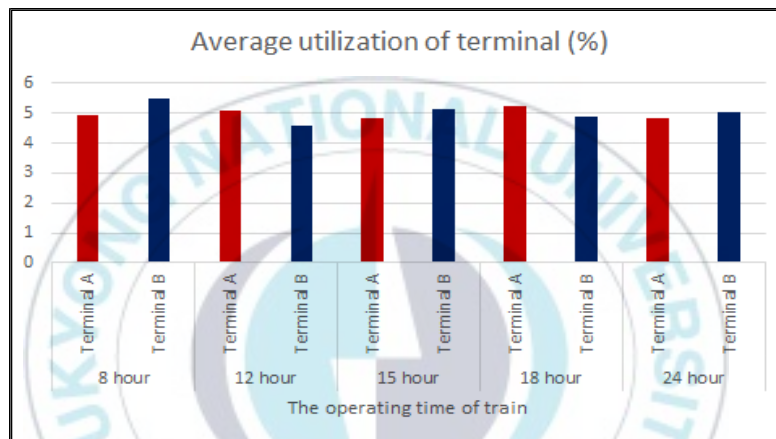
기본적으로 터미널 사이의 이동시간이 1시간 이상이어야 화차를 이용하는 필요성이 있다. 그러므로 하루에 18시간 운행하는 화차가 터미널 사이를 1시간 이동하는 것을 기준으로 철로 유형과 각 터미널에 배차된 화차의 개수를 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 단선회피의 철로의 경우 터미널 A에서 B로 이동하는 화차와 터미널 B에서 A로 이동하는 화차가 만났을 때 터미널 A에 배치된 화차가 회피하여 대기한다. 각 터미널에 배치된 화차의 개수가 증가할수록 운반되는 컨테이너 수가 많고, 터미널 설비와 대기구역의 전용트랙터의 이용률도 증가한다. 그러나 터미널 A에 배치된 화차의 대기시간도 급격히 증가한다(Fig. 4.7). 복선으로 된 철로의 경우 또한 터미널에 배치된 화차의 개수가 증가할수록 운반되는 컨테이너 수가 많고, 터미널 설비와 대기구역의 전용트랙터의 이용률도 증가한다(Fig.

4.8). 두 철로의 경우 평균적으로 지표들을 고려했을 때 터미널 A에 5대를 배치하고, 터미널 B에 4대를 배치한 경우가 가장 유리한 것으로 분석되었다. 본 연구에서 가정한 인자들을 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였기 때문에 실제상황을 반영한다면 좀 더 정확한 결과를 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

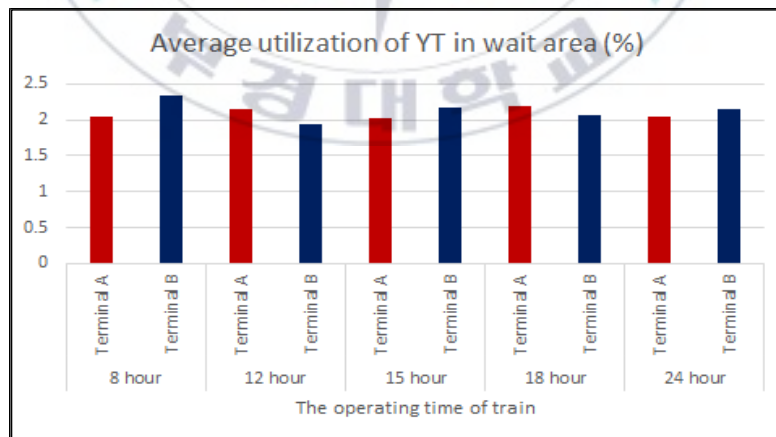




(a)

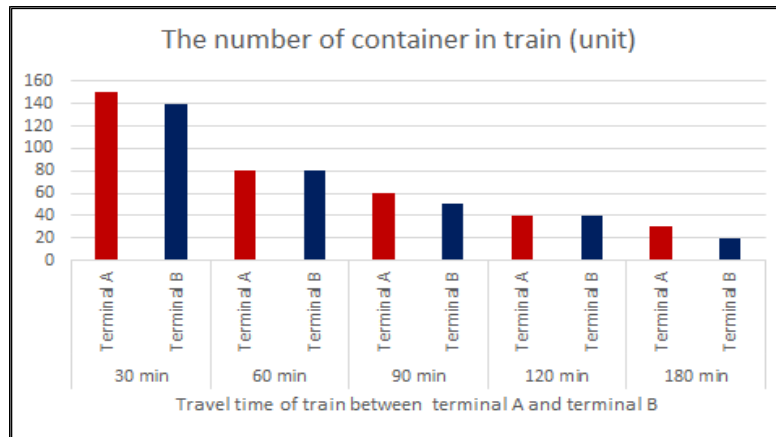


(b)

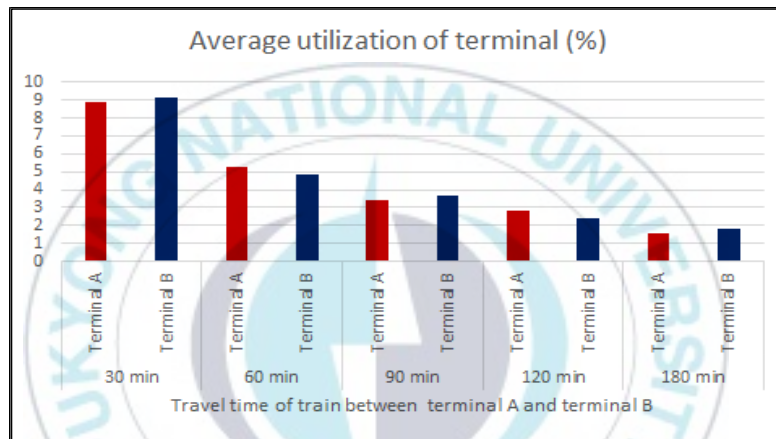


(c)

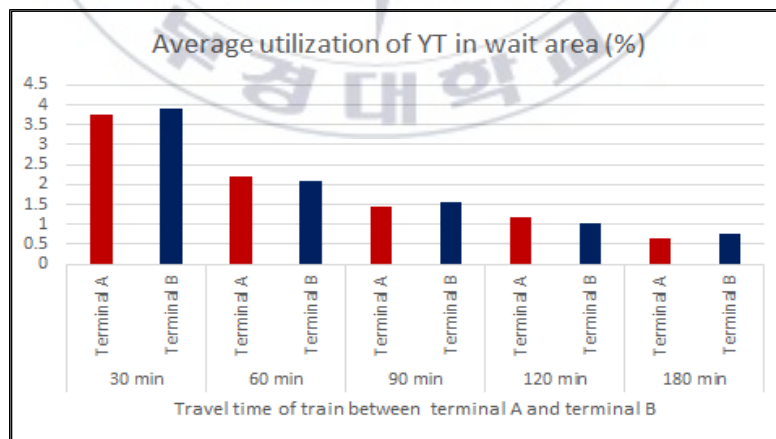
Fig. 4.5 Simulation result for the operating time of one direction with single train, travel time on 1 hour of train between terminal A and terminal B. (a) The number of container in train. (b) Average utilization of terminal. (c) Average utilization of Yard Tractor in wait area.



(a)

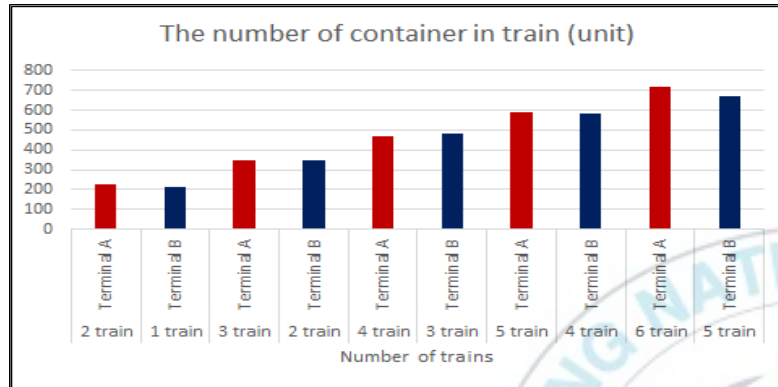


(b)

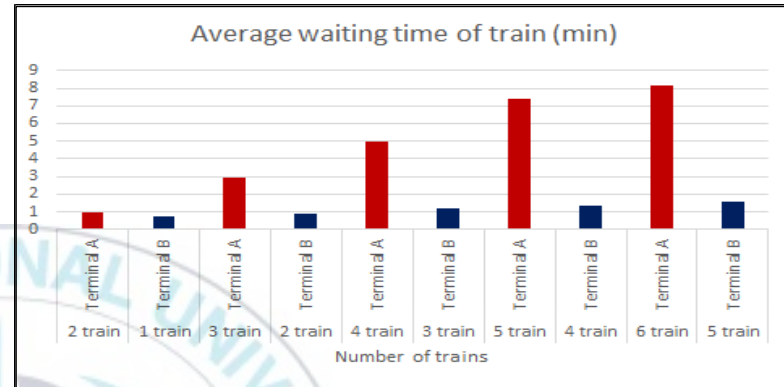


(c)

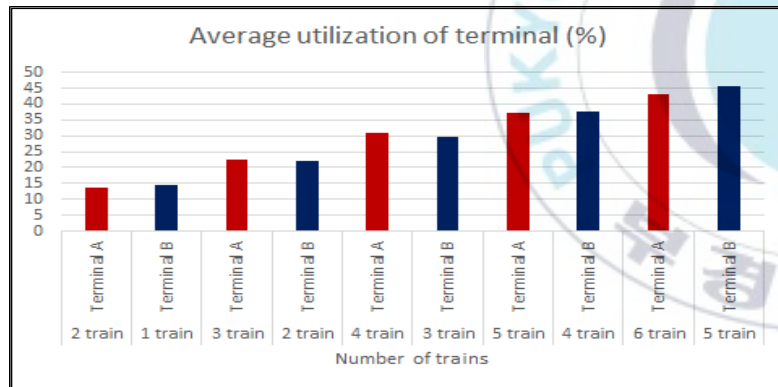
Fig. 4.6 Simulation result for travel time of one direction between terminal A and terminal B with single train, the operating time of train in 18 hours. (a) The number of container in train. (b) Average utilization of terminal. (c) Average utilization of Yard Tractor in wait area.



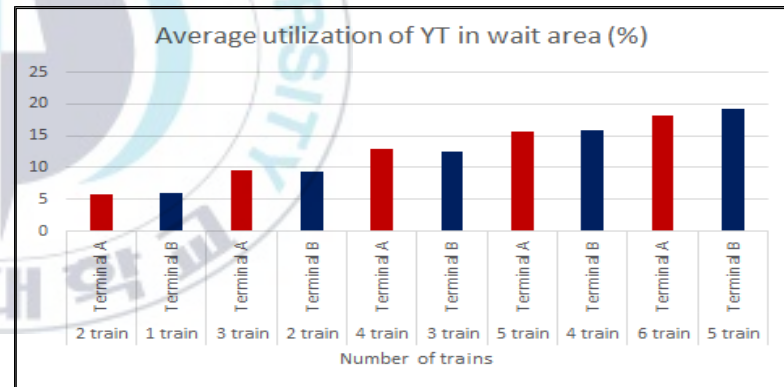
(a)



(b)

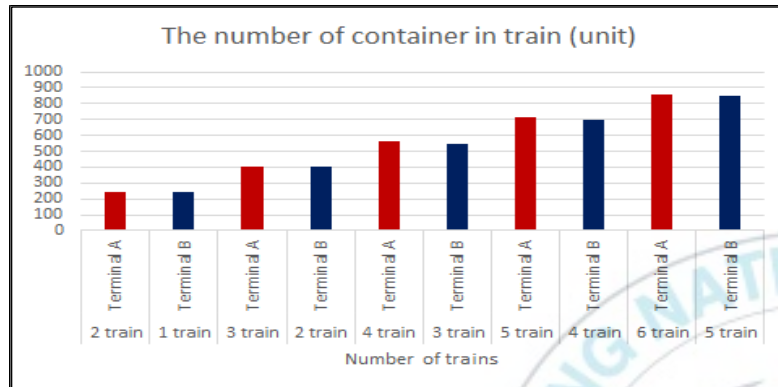


(c)

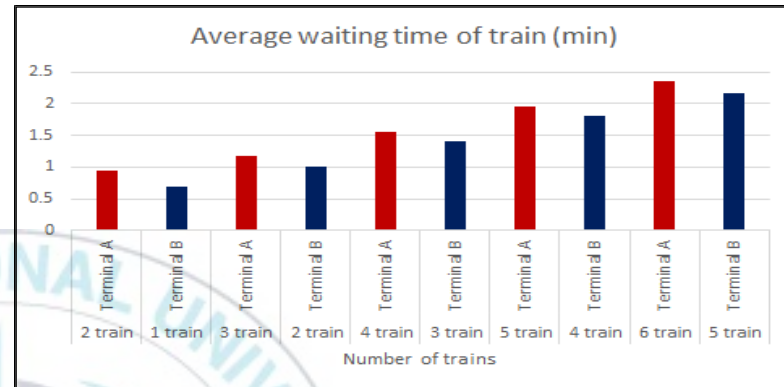


(d)

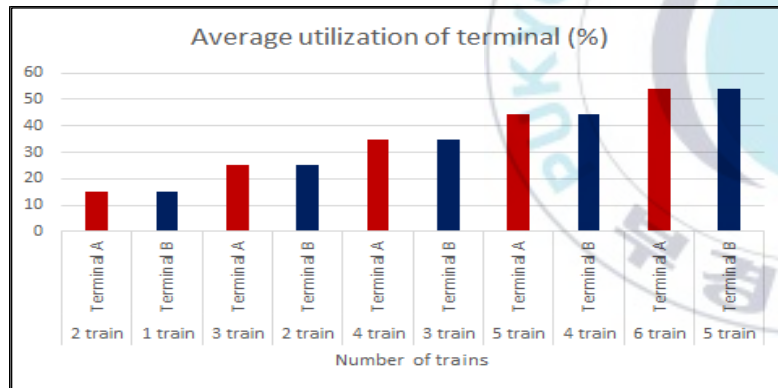
Fig. 4.7 Simulation result for the number of one direction and avoidance with trains, travel time between terminal A and terminal B with the operating time of train in 18 hours. (a) The number of container in train. (b) Average utilization of terminal. (c) Average utilization of Yard Tractor in wait area.



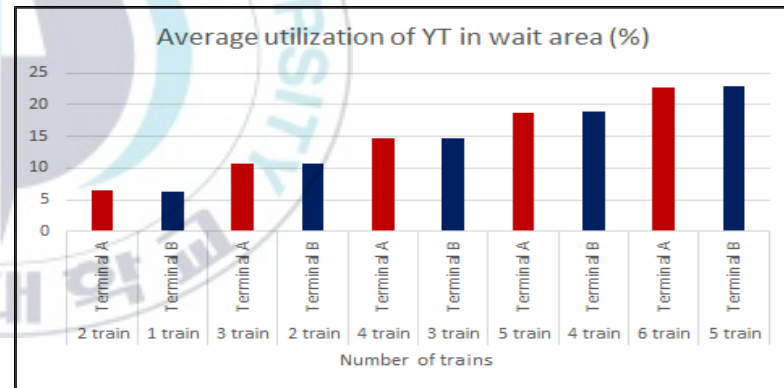
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.8 Simulation result for the number of two direction with trains, travel time between terminal A and terminal B with the operating time of train in 18 hours. (a) The number of container in train. (b) Average utilization of terminal. (c) Average utilization of Yard Tractor in wait area.

VI. 결론

본 연구에서는 GPSS/H 시뮬레이션 언어로 광석 및 컨테이너 운송시스템의 알고리즘을 설계하여 시뮬레이션 모델을 개발한 후, 그 결과를 PROOF5 애니메이션 프로그램을 통해 직관적으로 확인하는 방법을 제시하였다. 국내 석회석 지하광산을 대상으로 이 방법을 적용한 결과, 시간의 흐름에 따라 나타나는 사건들을 애니메이션을 통해 한 눈에 확인할 수 있었다. 결론적으로 시뮬레이션과 애니메이션의 결합을 통해 운반시스템의 전체적인 효율성 지표 값을 제공할 수 있었던 기존 시뮬레이션 프로그램들의 한계를 극복할 수 있었다. 또한 가상의 컨테이너 터미널의 인프라를 구축하고, 컨테이너를 운송할 장비를 선택하여 새로운 운송시스템의 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 시뮬레이션 결과 값만 보았을 때는 어떤 흐름으로 시뮬레이션이 진행되었는지 알 수 없을 정도로 복잡한 시스템이다. 애니메이션을 통해 시뮬레이션 결과 값이 나타났는지 알 수 있었고, 시뮬레이션의 흐름을 직관적으로 확인할 수 있었다.

본 연구는 시뮬레이션과 애니메이션을 결합하는 것에 목적을 두었기 때문에 시뮬레이션 알고리즘을 설계하였고 시뮬레이션 결과의 직접적인 검증은 수행하지 않았다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법을 이용한다면 애니메이션을 통해 시뮬레이션 진행과정을 확인할 수 있다. 따라서 향후 연구로서 광산이나 터미널에 ICT 기반 실시간 위치추적시스템이 도입된 현장에서 미리 시스템을 설계할 때 이 방법을 적용한다면 운송시스템 시뮬레이션 결과를 직접 검증할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- Ali, S., 2015. Simulation of product transportation in open pit mines, MS Thesis, University of Witwatersrand, Johannesburg, Republic of South Africa, pp. 1-117.
- Awuah-Offei, K., 2016, Energy efficiency in mining: a review with emphasis on the role of operators in loading and hauling operations, J. of Cleaner Production, 117(20), pp. 89-97.
- Banks, J., Carson, J. and Nicol, D., 2001, Discrete-event System Simulation, 3rd edition, Prentice-Hall, pp. 4-19.
- Briskorn, D. and Hartmann, S., 2006, Simulating dispatching strategies for automated container terminals. In: Operations Research Proceedings 2005, September 7-9, Bremen, pp. 97-102.
- Choi, Y., 2011. New software for simulating truck-shovel operation in open pit mines, J. of the Korean Society for Geosystem Engineering, 48(4), pp. 448-459.
- Coronado, P. and Pablo, P., 2014. Optimization of the haulage cycle model for open pit mining using a discrete-event simulation and a context-based alert system, MS Thesis, the university of arizona, USA, pp. 22-34.

Choi, Y., Park, S., Lee, S., Baek, J., Jung, J. and Park, H., 2016. Development of a Windows-based Program for Discrete Event Simulation of Truck-Loader Haulage Systems in an Underground Mine, *Tunnel & Underground Space*, 26(2), pp. 87-99.

Duikerken, M., Ottjes, J., and Lodewijks, G., 2002, The application of distributed simulation in TOMAS: Redesigning a complex transportation model. In: 2002 Winter Simulation Conference, December 8-11, Manchester Grand Hyatt San Diego. San Diego, CA.

Eriksson, A., 2014. A Discrete-event Simulation Approach to Improve Efficiency in Stump Fuel Supply Chains, Licentiate Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, pp. 29-37.

Farid, F. and Koning, T., 1994. Simulation Verifies Queuing Program for Selecting Loader-Truck Fleets, *J. of Construction Engineering and Management*, 120(2), pp. 386-404.

Fioroni, M., Santos, L., Fanzese, L., Seixas, J., Penna, B., Alkmim, G., 2014. Logistic evaluation of an underground mine using simulation, *J. of International Engineering REM*, 67(4), pp. 447-454.

Henriksen, J., 1999. General-purpose concurrent and post-processed Animation with PROOF, *Pro. of the 1999 Winter Simulation*

Conference, Phhoenix, AZ, USA, pp. 176–181.

Ibarra, V., 2015. Discrete event simulation and animation for a complex open pit mine operation, MARIGOLD mine in winnemucca, nevada, MS Thesis, University of Nevada, Reno, USA, pp. 1–133.

Jung, J., and Choi, Y., 2017. Measuring Transport Time of Mine Equipment in an Underground Mine Using a Bluetooth Beacon System, *Minerals*, 7(1), pp. 1–10.

Knights, P. and Bonates, E., 2007. Applications of discrete mine simulation modeling in South America, *J. of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 13(2), pp. 69–72.

Lee, T., Park, N., and Lee, D., 2003, A simulation study for the logistics planning of a container terminal in view of scm. *Maritime Policy and Management*, 30(3), pp. 243–254.

Nam, K., Kwak, K., and Yu, M., 2002, Simulation study of container terminal performance. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 128(3), pp. 126–132.

Mahieu. P., 2017. Evaluation and Optimization of an Underground Haulage System using Discrete Event Simulation, MS Thesis, Aalto University, Finland, pp. 1–43.

Park, S. and Choi, Y., 2013. Simulation of shovel-truck haulage system by considering truck dispatch methods, J. of the Korean Society of Geosystem Engineering, 50(4), pp. 543–556.

Park, S., Choi, Y. and Park, H., 2014a. Simulation of shovel-truck haulage system in open-pit mines by considering breakdown of trucks and crusher capacity, Tunnel & Underground Space, 24(1), pp. 1–10.

Park, S., Choi, Y. and Park, H., 2014b. Simulation of truck-loader haulage systems in underground mine using GPSS/H, Tunnel & Underground Space, 24(6), pp. 430–439.

Park, S., Lee, S., Choi, Y. and Park, H., 2014c. Development of a Windows-based simulation program for selecting equipments in open-pit shovel-truck haulage systems, Tunnel & Underground Space, 24(2), pp. 111–119.

Park, S., Choi, Y. and Park, H., 2016. Optimization of truck-loader haulage systems in an underground mine using simulation methods, Geosystem Engineering, 19(5), pp. 222–231.

Rizzoli, A., Fornara, N. and Gambardella, L., 2002, A simulation tool for combined rail/road transport in intermodal terminals. Mathematics

and Computers in Simulation, 59(1), pp. 57–71.

Suboleski, S., 1975. Mine Systems Engineering Lecture Notes, The Pennsylvania State University Park, USA.

Sturgul, J., 2000, Mine Design: Examples Using Simulation, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.(SME), Littleton, CO, USA, pp. 7–32.

Salama, A. and Greberg, J., 2012. Optimization of Truck–Loader haulage system in an underground mine: A simulation approach using SimMine, Proc. of the 6th International Conference and Exhibition on Mass Mining, Sudbury, Canada, pp. 1–10.

Salama, A., Greberg, J. and Schunnesson, H., 2014. The use of discrete event simulation for underground haulage mining equipment selection, Int. J. of Mining and Mineral Engineering, 5(3), pp. 256–271.

Shelswell, K. and Labrecque, P., 2017. Discrete simulations modelling the impact of operator numbers and truck availability on haulage fleet productivity, Proc. of the First International Conference on Underground Mining Technology, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 683–694.

Tarshizi, E., 2014. Multiple Discrete–event simulation and animation models to assist modern mining operations, Ph.D Thesis, University of Nevada, Reno, USA, pp. 33–143.

Tarshizi, E., Kocsis, C. and Taylor, C., 2016. Advanced approach to assess and improve underground mine evacuation using discrete–event simulation and animation, J. of Mining and Mineral Engineering, 7(2), pp. 170–179.



요 약

본 연구에서는 지하광산 트럭-로더 운반시스템과 인터모달 자동화물운송시스템의 시뮬레이션 결과를 애니메이션을 통해 직관적으로 확인할 수 있도록 GPSS/H 시뮬레이션 언어와 PROOF5 프로그램을 결합하는 방법을 제시하였다. 국내 석회석 지하광산과 가상의 컨테이너 터미널을 연구지역으로 선정하여 이 방법을 적용해보았다. GPSS/H 시뮬레이션 언어를 이용해 시뮬레이션 알고리즘을 설계하고 시뮬레이션한 후, 그 결과를 PROOF5에 입력한 가능한 파일 형식으로 출력하여 시뮬레이션과 애니메이션을 결합한 모델을 구현하였다. 국내 석회석 지하광산의 경우 트럭의 위치, 대기 시간, 로더의 이용률 등과 같은 시뮬레이션 결과를 얻었다. 가상의 컨테이너 터미널의 경우 인터모달 자동화물운송시스템을 시뮬레이션 한 결과, 터미널 사이의 화차의 이동시간, 터미널의 이용률, 대기구역의 전용트랙터의 이용률 등을 애니메이션을 통해 한눈에 확인할 수 있었고, 시뮬레이션이 제대로 수행되었는지 알 수 있었다. 제안된 방법은 운반시스템을 새로 도입하거나 개조시킬 때 의사결정을 내리는 데 도움을 줄 수 있는 도구로 생각한다.